

Härkäpavun vaikutus lypsylehmien maitotuotokseen

Anne Anttila

Maisterintutkielma

Helsingin yliopisto

Maataloustieteiden laitos

Kotieläinten ravitsemustiede

Toukokuu 2014

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Anne Anttila			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Härkäpavun vaikutus lypsylehmien maitotuotokseen			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitseminen			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Toukokuu 2014	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 50 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää härkäpavun maitotuotosvastetta rypsiin verrattuna säilörehuvaltaisella ruokinnalla, josta ei ole juuri aiempia tutkimustuloksia. Lisäämällä palkoviljojen viljelyä ja käyttöä eläinten rehuissa voidaan parantaa valkuaisomavaraisuutta. Koe suoritettiin Helsingin yliopiston Viikin tutkimustilan navetassa. Kokeessa oli kahdeksan vähintään kaksi kertaa poikinutta ayrshirelehmää, joista neljällä oli pötsifisteli. Kokeen alkaessa lehmien poikimisesta oli kulunut keskimäärin 100 (keskihajonta 51) päivää. Koemallina oli rinnakkain toistettu 4x4 latinalainen neliö, joista toisen muodostivat fistelöidyt ja toisen fistelöimättömät lehmät. Koekäsittelyinä olivat kontrolliruokinta (ilman valkuaislisää), rypsirouhe, rypsirouhe-härkäpapuseos ja härkäpapu. Lehmät saivat 14 kg/pv väkirehua ja hyvin sulavaa nurmisäilörehua vapaasti. Valkuaisväkirehut olivat isonitrogeenisia, raakavalkuaisen ollessa noin 200 g/kg ka.</p> <p>Tässä tutkimuksessa valkuaisäydennys ruokinnassa lisäsi säilörehun syöntiä (2,4 kg ka/pv) ja lehmien maitotuotosta (1,6 – 4,9 kg/pv). Valkuaislisällä maidon rasvapitoisuus oli pienempi (41,2 vs. 45,3 g/kg ka) mutta maidon valkuaispitoisuus oli suurempi (35,5 vs. 34,3 g/kg) kontrolliin verrattuna. Rehun tyyppien hyväksikäyttö maitoon samoin kuin OIV ja ME hyväksikäytöt sekä EKM-tuotos syötyä kuiva-ainekiloa kohden olivat pienempiä valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla.</p> <p>Rypsi ei tässä kokeessa johtanut yhtä suureen syönnin ja tuotoksen lisäykseen kuin oli aikaisempien tutkimustulosten perusteella odotettavissa. Lehmien säilörehun syönti ja maitotuotos olivatkin suurimpia härkäpapua sisältävillä ruokinnoilla. Rypsiroukinnalla lehmät söivät säilörehua 2,7 kg vähemmän ja maitotuotos oli 2,5 kg pienempi kuin härkäpapuroukinnalla. Rypsin ja härkäpavun seos antoi kuitenkin parhaan maitotuotoksen, joka oli 2 kg enemmän kuin rypsin ja härkäpavun maitotuotos keskimäärin. Muuntokelpoisen energian (ME) hyväksikäyttö ja EKM-tuotos syötyä kuiva-ainetta kohden olivat rypsiroukinnalla suuremmat kuin härkäpapuroukinnalla. Tämän tutkimuksen perusteella rypsiä voidaan korvata härkäpavulla lypsylehmien valkuaislähteenä.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords lypsylehmä, härkäpapu, maitotuotos			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muuta tietoa — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat: Professori Aila Vanhatalo, tohtorikoulutettava Laura Puhakka ja yliopistonlehtori Seija Jaakkola			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Anne Anttila			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Effects of faba bean on dairy cow milk production			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year May 2014	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 50 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The aim of this study was to investigate dairy cow performance on faba bean compared to rapeseed meal on silage based diets. Increasing use of grain legumes may improve self-sufficiency of feed protein. The study was conducted at the research farm of University of Helsinki. In the experiment, eight multiparous Finnish Ayrshire cows were used. Four of them were fitted with rumen fistula. In the beginning of the experiment, cows were 100 (\pm 51) days in milk. Replicated 4x4 Latin square design was used: the other square consisted of cows with rumen fistulas and the other of intact cows. Treatments of the study were concentrate feeds as follows: control (no protein supplement), rapeseed meal, faba bean and mixture of rapeseed meal and faba bean. Concentrates were fed at a rate of 14 kg/d and silage was given ad libitum. Concentrate feeds including protein supplement were isonitrogenous crude protein content being approximately 200 g/kg DM.</p> <p>Protein supplementation increased silage intake (2,4 kg/d) and milk production (1,6 – 4,9 kg/d). Protein supplementation decreased milk fat content (41,2 vs. 45,3 g/kg DM) but increased milk protein content (35,5 vs. 34,3 g/kg). Feed nitrogen utilization to milk, AAT and ME utilizations and ECM yield to feed intake -ratio were decreased on protein supplementation.</p> <p>In this experiment however rapeseed meal did not give responses of same level as was expected according to results of earlier experiments. Diets including faba bean increased silage intake and milk production compared to rapeseed meal diet. Rapeseed meal diet decreased silage intake 2,7 kg and milk yield 2,5 kg compared with faba bean diet. Mixture of rapeseed and faba bean resulted in the highest milk production being 2 kg more than on average on rapeseed meal and faba bean diets. Utilization of ME and ECM yield to feed intake -ratio were increased with rapeseed meal diet. According to this study rapeseed meal as a protein supplement can be substituted by faba bean in dairy cow diets on silage based diets.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords dairy cow, faba bean, lactation			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: Professor Aila Vanhatalo, doctoral student Laura Puhakka, university lecturer Seija Jaakkola			

Sisällys

1 Johdanto.....	5
2 Aineisto ja menetelmät	11
2.1 Koejärjestelyt ja koe-eläimet	12
2.2 Rehut ja ruokinta.....	12
2.3 Elopaino ja kuntoluokitus	14
2.4 Maitotuotos ja maidon koostumus.....	14
2.5 Sulavuus.....	15
2.6 Pötsikäyminen.....	15
2.7 Näytteiden analysointi	16
2.8 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi	17
3 Tulokset	21
3.1 Rehujen kemiallinen koostumus.....	21
3.2 Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti	23
3.3 Sulavuus ja pötsifermentaatio.....	26
3.4 Maitotuotos, maidon koostumus ja ravintoaineiden hyväksikäyttö	29
3.5 Elopaino ja kuntoluokat	32
4 Tulosten tarkastelu	32
4.1 Rehut ja syönti	32
4.2 Sulavuus ja pötsikäyminen	36
4.3 Maitotuotos ja maidon pitoisuudet	38
5 Johtopäätökset	43
Kiitokset	44
Lähteet	45

1 Johdanto

Valkuaislisän merkitys lypsylehmän ruokinnassa on korostunut, koska maidontuotantopotentiaali on suuri ja pelkästään perusrehujen valkuainen ei riitä täyttämään aminohappojen tarvetta. Useissa tutkimuksissa on selvitetty, että valkuaislisällä ruokinnassa voidaan lisätä lypsylehmän maitotuotosta (Rinne ym. 1999, Khalili ym. 2002, Chamberlain ja Yeo 2003, Korhonen 2003). Kaikki rehuvalkuainen ei ole kuitenkaan suoraan märehtijän käytettävissä, vaan lehmien tärkein valkuaisen lähde on pötsissä muodostuva mikrobivalkuainen (McDonald ym. 2011). Vain osa rehuvalkuaisesta ohittaa pötsin hajoamatta ja imeytyy ohutsuoilesta. Lypsylehmälle pyritään tarjoamaan riittävä määrä hyvälaatuista valkuaista, jotta korkea tuotostaso ylläpidetään, mutta minimoidaan ympäristövaikutukset (Huhtanen ym. 2011). Liiallinen ruokinnan valkuaisaso tarpeeseen nähden aiheuttaa myös hedelmällisyysongelmia (Canfield ym. 1990). Valkuainen on kallis komponentti ruokinnassa ja ylimäärä poistetaan elimistöstä, joten sitä ei kannata ruokkia liian suurina määrinä talouden eikä ympäristön kannalta.

Suomen lypsykarjatiljoilla on käytössä erilaisia valkuaisrehuja kuten rypsi (*Brassica rapa* L. *oleifera*), soija (*Glycine max*), herne (*Pisum sativum* L.) ja härkäpapu (*Vicia faba* L.). Käytetyimmät valkuaislähteet Suomessa ovat rypsi ja rapsi, jotka sopivat niin kasvuvaatimuksiltaan viljelyyn kuin ruokinnalliselta arvoltaan lypsylehmien ruokintaan (Shingfield ym. 2003, Huhtanen ym. 2011). Herne, härkäpapu ja lupiini (*Lupinus* spp.) ovat palkokasveja, joita voidaan hyödyntää valkuaisen lähteenä lypsylehmien ruokinnassa, mutta ne ovat vähemmän käytettyjä. Tarve kasviperäisille valkuaislähteille on Euroopassa suuri, koska vuonna 1994 löydettiin hullun lehmän tauti eli BSE (bovine spongiform encephalopathy), jonka seurauksena lihaluujauhon rehukäyttö lehmillä kiellettiin EU:ssa (Ramos-Morales ym. 2008).

Suomessa käytettävästä kasviperäisestä valkuaisesta tuodaan ulkomailta 85 % (Stoddard 2012). Näin ollen Suomen valkuaisomavaraisuusaste ei ole suuri ja esimerkiksi rypsintuotantoala on vähentynyt. Rypsiala oli vuonna 2013 36 000 hehtaaria, mikä on noin kolmanneksen vähemmän kuin vuonna 2012 (43 000 ha) (TIKE 2014). Rypsi on viljelyteknisesti haastava kasvilaji. Kesä 2012 oli kylmä ja sateinen, mikä on rypsintuotannolle hankala sää. Ongelmat saattoivat vähentää

kiinnostusta viljelyyn seuraavana kesänä. Myös hintamuutokset vaikuttavat viljelyaloihin, viljan hinnan noustessa voi olla halukkuutta viljellä helpommin menestyvää viljaa kuin rypsiä. (Markku Niskanen, MTT, sähköpostiviesti kirjoittajalle 11.3.2014). Rapsin tuotantoala on puolestaan hieman lisääntynyt vuodesta 2012 (14 400 ha) vuoteen 2013 (16 400 ha). Rapsia viljellään pääsääntöisesti Etelä-Suomessa, jossa sen viljely onnistuu hyvin. Rapsi kiinnostaa viljelijöitä suuremman satotason vuoksi ja uudet aikaisemmat ja satoisemmat viljelylajikkeet lisäävät halukkuutta viljelyyn. Viljelyala ei kuitenkaan kerro suoraan satomääriä. Esimerkiksi vuonna 2012 rypsin satotaso on ollut 1 670 kg/ha ja vuonna 2013 se oli korkeampi ollen 1 720 kg/ha. Näin ollen kokonaissato on noussut vuonna 2013 suuremmaksi (52 milj. kg) kuin vuonna 2012 (49 milj. kg). Rypsin ja rapsin viljelyn kannalta tulevaisuus on epävarma, koska EU kielsi vuoden 2014 alusta neonikotinoidien (öljykasvien tuholaisentorjunnassa käytettävä torjunta-aine) käytön (TUKES 2014).

Härkäpavun viljelyalat ovat Suomessa lisääntyneet. Härkäpapua tuotettiin vuonna 2013 Suomessa 7 200 hehtaarilla (TIKE 2014), vuonna 2007 peltopinta-ala on ollut 500 ha ja vuonna 2009 se lisääntyi ollen 2 300 ha (Laine 2010). Kiinnostus härkäpavun viljelyyn on lisääntynyt viljelijöiden keskuudessa ja sen viljelystä on saatavilla koko ajan enemmän opittua tietoa kun kokemuksia karttuu (Erkki Vihonen, ProAgria Etelä-Pohjanmaa, sähköpostiviesti kirjoittajalle 11.3.2014). Härkäpapu on myös varmempi viljellä puhtaana kasvustona kuin esimerkiksi herne, joka tarvitsee tukikasvin (Stoddard ym. 2011). Tutkimusten mukaan Suomessa kasvaneen härkäpavun valkuaispitoisuus on keskimäärin suurempi kuin muualla maailmassa kasvaneen (Fred Stoddard tiedonanto kirjoittajalle 27.3.2014). Tämä tukee varmasti osaltaan härkäpavun viljelykäytön lisääntymistä. Kasvua härkäpavun viljelyaloissa on siis olemassa ja näin ollen voidaan sen osuuden olettaa lisääntyneen jonkin verran myös rehukäytössä. Siksi olisikin selvitettävä, minkälainen komponentti härkäpapu ruokinnassa on.

Härkäpavun viljelyllä on Suomessa pitkät perinteet, koska jo 500 eKr. suomalaiset viljelijät kasvattivat härkäpapua (Stoddard ym. 2009). Härkäpapua on käytetty niin ihmisten kuin eläintenkin ravintona sen korkean proteiini- ja energiapitoisuuden vuoksi (Crépon ym. 2010). Tutkimusta härkäpavun tuotantovaikutuksesta lypsyleh-

mällä nurmisäilörehupohjaisella ruokinnalla on kuitenkin vähän ja tästä syystä tiloilla oleva tieto on lähinnä kokemuseräistä.

Härkäpavun kemiallinen koostumus eroaa jonkin verran rypsirouheen koostumuksesta. Härkäpavun valkuaispitoisuus (300 g/kg ka) on pienempi kuin rypsirouheen (379 g/kg ka). Myös raakarasvaa, raakakuitua, neutraalidetergenttikuitua (NDF), tuhkaa ja sokeria on vähemmän härkäpavussa kuin rypsirouheessa. Tärkkelystä härkäpavussa (380 g/kg ka) on kuitenkin huomattavasti enemmän kuin rypsirouheessa (45 g/kg ka). (MTT 2010) Härkäpapu toimiikin lypsylehmillä ruokinnassa valkuaisen ja energian lähteenä. Esimerkiksi RaisioAgron Maituri 12 000 sarjan rehuihin lisätään hennettä ja härkäpapua hitaasti hajoavan tärkkelyksen vuoksi (Holma 2011). MTT:n rehutaulukoiden koostumustiedot härkäpavulle perustuvat ulkomaisiin tutkimuksiin (Puhakka ym. 2012). Uusien tutkimuksien avulla saadaankin lisätietoa myös härkäpavun koostumuksesta.

Valkuaiskasveilla on niiden ruokinnallisen arvon lisäksi merkitystä peltoviljelyssä. Palkokasvit monipuolistavat viljelykiertoa katkaisten viljojen kasvitautikierteen ja lisäävät biodiversiteettiä sekä pölyttäjien ravinnon määrää. Palkokasvit toimivat symbioosissa niiden juurinystyröissä elävän tyyppä sitovan *rhizobium*-bakteerin kanssa, mikä takaa isäntäkasville tyyppä lähteen. Härkäpapu siis tarvitsee vain hyvin vähän lannoitetta ja se parantaa maan tyyppitasetta myös seuraavaa kasvia varten. (Stoddard ym. 2009). Härkäpavulla on lisäksi syvälle ulottuva paalujuuri, joka parantaa maan rakennetta.

Etenkin luomumaidontuotannossa luomukelpoisen valkuaisen saaminen ruokintaan on tärkeää (Khalili ym. 2002). Tyyppä sitovat palkokasvit toimivat hyvin luomutuotannossa, jossa keinotekoisia lannoitteita ei saa käyttää (Stoddard ym. 2009). Myös tavanomaisessa tuotannossa voidaan kustannuksia vähentää, koska säästöä voidaan saavuttaa lannoite- ja rehukustannuksissa. Omavaraisuuden lisääntyessä maailmanmarkkinahintojen vaihtelut eivät vaikuta niin paljon välttämättömissä maatalouden panosten hinnoissa. Palkoviljojen viljely ja käyttö eläinten ruokinnassa on keino lisätä omavaraisuutta valkuaislähteiden suhteen. Näin ollen huoltovarmuus ja ruokaturva paranevat.

Palkokasveissa on haitta-aineita eli sekundaarisia metaboliitteja, jotka toimivat kasvien puolustuskeinona tuhohyönteisiä ja kasvinsyöjiä vastaan ja ne saattavat heikentää rehun sulatusta ja syöntiä (Dixon ja Hosking 1992, D'Mello 2000, Puhakka ym. 2012). Härkäpavun haitta-aineita ovat trypsiini-inhibiittorit, lektiinit, tanniinit, oligosakkaridit sekä glykosidit muun muassa visiini ja konvisiini (Melicharová 2009). Haitta-aineiden merkitystä yksimahaisten ruokinnassa on tutkittu paljon (Dixon ja Hosking 1992, Crépon 2010). Erityisesti tanniinit, visiini sekä konvisiini on huomattu yksimahaisten ruokinnassa ongelmallisiksi. Sikojen ruokinnassa tanniinit heikentävät rehun ja valkuaisen sulavuutta. Siipikarjalla tanniinit vaikuttavat negatiivisesti niin rehun energia-arvoon kuin proteiinien ja hiilihydraattien sulavuuteen. Visiini ja konvisiini aiheuttavat munijakanoilla hemolyysiä (punaisten verisolujen hajoaminen), josta seurauksena on pienentynyt munakoko. Visiinillä ja konvisiinillä on vaikutusta myös rehun näennäiseen sulavuuteen broilereilla. (Crépon ym. 2010). Haitta-aineita on tutkittu jonkin verran myös märehtijöillä ja erityisesti lypsylehmillä. Pötsikäymisen aikana mikrobikanta pystyy muokkaamaan haitta-aineita siten, että ne eivät ole haitallisia märehtijöiden aineenvaihdunnassa (Dixon ja Hosking 1992). Melicharová ym. (2009) on tutkimuksessaan havainnut että härkäpapua voidaan käyttää korvaamaan soijaa valkuaislähteenä, eikä haitta-aineista ole terveydellistä riskiä. Haitta-aineiden on ajateltu olevan jopa hyödyllisiä märehtijöiden ruokinnassa. Esimerkiksi Martinez ym. (2004) on tutkinut tanniinilisän vaikutusta valkuaisen hajoavuuteen pötsissä ja sen avulla on saatu vähennettyä valkuaisen pötsihajoavuutta.

Nykypäivänä maataloustuotantoon vaikuttavat yhä enemmän ympäristönäkökohdat ja maidontuotannossakin pyritään vähentämään päästöjä luontoon (Huhtanen ym. 2011). Fosfori on ravinne, jonka kulkeutuminen vesistöihin biologisesti aktiivisessa muodossa aiheuttaa niiden rehevöitymistä (Uusitalo ja Ekholm 2004). Vuonna 2012 Suomen ympäristökeskuksen arvion mukaan 68,6 % vesistöjen ravinnekuormituksesta fosforin osalta tuli maataloudesta (SYKE 2013). Lypsylehmät erittävät tuotantokauden aikana paljon fosforia. Optimoimalla fosforitaso ruokinnassa tarpeiden mukaiseksi on erityis sonnassa, virtsassa ja maidossa pienempää kuin ruokittaessa fosforia yli tarpeen (Morse ym. 1992). Härkäpavun fosforipitoisuus 6,5 g/kg ka on pienempi kuin rypsin 13,2 g/kg ka (MTT 2010). Ruokkimalla härkäpapua voitaisiinkin välttää liiallista fosforinsaantia.

Toinen ympäristöön liittyvä tekijä lypsylehmien ruokinnassa on valkuaisruokinnan optimointi ja oikeat aminohapposuhteet rehuissa. Ylimääräinen ja sulamaton valkuainen eritetään sonnassa ja virtsassa erilaisina typen yhdisteinä, joiden hajoamisessa muodostuu dityppioksidia, joka on kasvihuonekaasu. Sonnan ja virtsan ammoniakki aiheuttaa luonnossa happamoitumista ja rehevöitymistä. (McDonald ym. 2011). Vuonna 2012 Suomen vesistöjen ravinnekuormituksesta typen osalta arvion mukaan 56,2 % aiheutui maataloudesta (SYKE 2013). Jotta valkuainen voitaisiin hyödyntää mahdollisimman hyvin, lypsylehmä tarvitsee riittävän määrän sekä välttämättömiä että ei-välttämättömiä aminohappoja (McDonald ym. 2011). Myös riittävä energiansaanti on valkuaisensaannin lisäksi varmistettava, jotta pötsissä muodostuu riittävästi mikrobivalkuaista eikä valkuainen häviä ureana virtsassa ja maidossa (McDonald ym. 2011). Kun lehmien ruokinta muodostuu säilörehusta täydennettynä viljalla, ei ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen aminohap-pokoostumus ole optimaalinen. Maidontuotantoa eniten rajoittava aminohappo on histidiini (Vanhatalo ym. 1999). Muita mahdollisesti rajoittavia aminohappoja ovat metioniini ja lysini. (Chamberlain ja Yeo 2003). Histidiiniä ja lysiniä rypsisssä ja härkäpavussa on suurin piirtein saman verran. Kuitenkin metioniinia härkäpavussa (0,6 g/ 100 g valkuaista) on vähemmän kuin rypsisssä (1,8 g/ 100 g valkuaista) (MTT 2010). Maidon muodostumiseen tarvitaan aminohappojen lisäksi energiaa ja laktoo-sisynteesiin glukoosia, härkäpavussa onkin enemmän tärkkelystä energianlähteenä kuin rypsisssä.

Härkäpavun valkuaisen pötsihajoavuus on suuri (Ramos-Morales 2008). Rypsin hajoavan valkuaisen osuus on 63 % ja härkäpavun jopa 80 % (MTT 2010). Suuri pötsihajoavuus heikentää valkuaisen käyttökelpoisuutta. Valkuainen hajoaa pötsissä, mutta pötsimikrobit eivät pystykään hyödyntämään sitä kaikkea. Tämä aiheuttaa ammoniakkin siirtymistä pötsistä vereen ja ylijäämä eritetään ureana maidon ja virtsan mukana. Valkuaista halutaankin suojata pötsissä hajoamiselta (Dixon ja Hosking 1992). Hajoavuuteen voidaan vaikuttaa rehun käsittelyllä kuten rehun jauhamisella tai ekstruusiolla. Isommalla myllyllä jyvän jauhaminen ja ekstruusio eli jyvän lämpö- ja painekäsittely vähentävät härkäpavun pötsihajoavuutta (Crépon ym. 2010). On kuitenkin otettava huomioon että jos pötsi-hajoavuutta saadaan vähennettyä voi sulaminen myös ruuansulatuskanavan muissa osissa heikentyä (Dixon ja Hosking 1992). Melicharová ym. (2009) totesikin tutkimuksessaan että härkäpavun prosessointia ei välttämättä tarvita lainkaan.

Härkäpapua on useissa ulkomaisissa tutkimuksissa käytetty soijan korvaajana ja siitä on saatu hyviä tuloksia. Crépon ym. (2010) totesivat, että soijan korvaaminen härkäpavulla (3,5 kg härkäpapua) ei ole vaikuttanut negatiivisesti rehun syöntiin, tuotokseen tai maidon pitoisuuksiin. Suuremmat härkäpapuannokset (4,5 kg) aiheuttivat maidon pitoisuuksissa muutoksia valkuaisprosentin laskiessa. Tämä saattaa johtua härkäpavun hajoamisesta pötsissä, josta aiheutuu myös maidon suurempi ureapitoisuus. Melicharován ym. (2009) tutkimuksen perusteella soijapa-vusta voidaan korvata 20 % härkäpavulla. Volpelli ym. (2010) tutkivat myös soijan osittaista korvaamista härkäpavulla. Tutkimus suoritettiin parmigiano-reggiano juustoa tuottavilla reggiana-rotuisilla lehmillä, joiden ruokinnassa esimerkiksi geenimuunneltujen rehujen tai lupiinin käyttäminen on kiellettyä ja härkäpapua voidaan käyttää vain 10 % väkirehuannoksessa. Väkirehuokintoja oli kaksi. Kontrolliväkirehussa oli 12 % soijaa eikä muuta valkuaisen lähdettä ja härkäpapuväkirehussa oli 7,5 % soijaa ja 10 % härkäpapua. Tuloksena kokeesta oli, että soijan korvaaminen härkäpavulla ei vaikuttanut negatiivisesti maidon pitoisuuksiin tai tuotokseen. Tufarellin ym. (2012) tutkimuksessa soijaruokinnalla väkirehusta 345 g/kg ka oli soijaa ja härkäpapurukinnalla väkirehusta 195 g/kg ka oli härkäpapua. Väkirehutaso vaihteli kokeen edetessä lehmien lypsämän maitomäärän mukaan, joten härkäpavun ja soijan todellista syötyä määrää ei tutkimuksessa ilmoitettu. Tutkimuksessa ainoastaan maidon rasvapitoisuus ja maidon urea erosivat merkitsevästi ruokintojen välillä, molempien ollessa pienemmät härkäpapurukinnalla kuin soijaruokinnalla. Härkäpapua ei ole aiemmin verrattu juurikaan rypsiin, joka on kuitenkin Suomessa tärkeä valkuaislähde.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää härkäpavun soveltuvuutta ja tuotantovaikutusta lypsylehmien valkuaisrehun lähteenä nurmisäilörehuvaltaisessa ruokinnassa. Kokeessa käytettävät valkuaisrehut olivat rypsirouhe ja härkäpapu. Tutkimus oli osa Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitoksen Kotimaiset palkoviljat maidontuotannon omavaraisuuden tehostajana (Kotipalko) -hanketta.

Ensimmäisenä hypoteesina oli, että härkäpavun käyttö lisää maitotuotosta pelkkään viljapohjaiseen väkirehuun verrattuna, mutta rypsirehun korvaaminen kokonaan

härkäpavulla vähentää maitotuotosta. Toisen hypoteesin mukaan metioniinin niukka saanti saattaa rajoittaa härkäpavun maidontuotantovaikutusta rypsiin verrattuna.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koejärjestelyt ja koe-eläimet

Koe tehtiin 18.2.2012 - 12.5.2012 Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimus-tilan navetassa. Kokeessa oli mukana kahdeksan vähintään kaksi kertaa poikinutta ayrshirelehmää, joista neljällä oli pötsifisteli. Lehmät olivat kokeen ajan kytkettyinä parteen. Lehmien poikimisesta oli kokeen alkaessa keskimäärin 100 päivää (keskihajonta 35 päivää) ja elopaino oli keskimäärin 692 kg (keskihajonta 51 kg). Yksi lehmistä jouduttiin poistamaan kokeesta sairastumisen takia kokeen toisen jakson jälkeen.

Kokeessa käytettiin koemallina rinnakkain toistettua 4x4 latinalaista neliötä (Taulukko 1). Toisen neliön muodostivat fistelöidyt ja toisen fistelöimättömät lehmät. Koekäsittelyinä oli neljä erilaista valkuaisrehua: kontrolli (ei valkuaislisää), rypsirouhe, rypsirouhe-härkäpapuseos ja härkäpapu. Koejaksot kestivät kolme viikkoa, joista kaksi ensimmäistä olivat totutusruokintaa (14 vrk) ja viimeinen viikko oli keruuviikko (7 vrk).

Taulukko 1. Koekaavio

Jakso	Neliö A (fistelöidyt lehmät)				Neliö B			
	Lehmä nro				Lehmä nro			
	1	2	3	4	5	6	7	8
I	R	RHP	HP	K	HP	K	R	RHP
II	K	R	RHP	HP	RHP	HP	K	R
III	RHP	HP	K	R	K	R	RHP	HP
IV	HP	K	R	RHP	R	RHP	HP	K

K = kontrolli, R = rypsi, RHP = rypsi-härkäpapu HP = härkäpapu

2.2 Rehut ja ruokinta

Kokeessa käytettävä karkearehu oli ensimmäisen sadon timotei-nurminatasäilörehua, joka oli korjattu noukinvaunulla ja säilötty laakasiiloon. Säilöntäaineena oli muurahaishappopohjainen säilöntäaine (AIV 2 Plus, Kemira Oyj, joka sisälsi 760 g/kg muurahaishappoa ja 55 g/kg ammoniumformiaattia). Säilörehusta määritettiin viikoittain kuiva-aine (ka) ja pH (rehusta puristetusta nesteestä) koko kokeen ajan. Keruuviikoilla säilörehusta kerättiin lisäksi näytettä jokaisen jakokerran yhteydessä. Näytteet yhdistettiin rehuittain ja jaksoittain. Näytteet säilytettiin pakkasessa.

Lehmät saivat syödä säilörehua vapaasti siten, että vähintään 5 % annetusta säilörehumäärästä jäi jätettä. Säilörehu jaettiin kokeen alussa kiskoruokkijalla (TMR-sukkula, Pellon Group, Suomi) neljästi vuorokaudessa (klo 4.30, 10.30, 15.00, 20.00). 15.3.2012 lähtien säilörehua jaettiin käsin kolmesti vuorokaudessa (klo 10.30, 15.00, 20.00) yksilöllisiin punnitseviin rehukaukaloihin (Insentec RIC system, Insentec B.V., Marknesse, Alankomaat).

Väkirehuna käytettiin teollisesti valmistettuja pelletöityjä väkirehuja (taulukko 2). Kontrollirehun pääkomponentit olivat ohra, vehnä kaura ja melassileike. Viljoja ja melassileikettä korvattiin rypsirehussa 25 % rypsirouheella ja härkäpapurehussa 33 % härkäpavulla. Rypsin ja härkäpavun seoksen valkuaisesta puolet tuli härkäpavusta ja puolet rypsirouheesta.

Taulukko 2. Koeväkirehujen koostumus (% ilmakeivasta).

	Kontrolli	Rypsi	Härkäpapu
Rypsirouhe	-	25,0	-
Härkäpapu	-	-	33,0
Ohra	20,0	15,7	13,0
Vehnä	20,0	15,7	13,0
Kaura	20,0	15,6	13,0
Melassileike	20,0	15,5	13,1
Seosmelassi	5,0	5,0	5,0
Rankki	5,0	4,2	6,5
Rehujauholeseseos	6,3	-	-
Kalsiumkarbonaatti	1,6	1,5	1,6
Natriumkloridi	0,4	0,5	0,5
Natriumvety karbonaatti	0,4	0,4	0,4
Magnesiumoksidi	0,3	0,3	0,3
Nauta-hivenaineseos A/Y	0,3	0,3	0,3
Nauta-vitamiiniseos A/Y	0,3	0,3	0,3
Kasviöljy (rypsi)	0,5	0,2	0,2

Koekäsittelyistä rypsi, rypsi-härkäpapuseos ja härkäpapu väkirehuruokinnat oli muodostettu isonitrogeenisiksi, jolloin niiden raakavalkuaispitoisuus on samalla tasolla. Väkirehuannos oli 14 kg päivässä, jonka valkuaisaso keskimääräisillä rehutaulukko arvoilla (MTT 2010) ilmaistuna vastasi noin 3,5 kg rypsirouhetta ja

vastaavasti 4,6 kg härkäpapua. Seoksessa rypsiä oli vastaavasti 1,8 kg ja härkäpapua 2,3 kg. Todelliset määrät ruokinnoissa vaihtelivat johtuen valkuaisrehujen raakavalkuaispitoisuuksista.

Väkirehuannos jaettiin viisi kertaa päivässä (klo 6.00, 8.30, 12.30, 17.00 ja 19.30) rehukaukaloon ripustettavista kupeista. Sekä väkirehun että säilörehun jaon ajan lehmien pääsy syömään estettiin lukitsemalla rehukaukalon ruokintaeste yläasentoon. Väkirehuista kerättiin jokaisen jakson viimeisellä viikolla (keruuviikko) päivittäin näytettä kuiva-aineen määrittämistä ja analysointia varten.

Rehunkulutusta seurattiin punnitsemalla säilö- ja väkirehujätteet päivittäin klo 10.00 jälkeen rehukuppien tyhjennyksen yhteydessä. Jos väkirehua jäi syömättä suurempi määrä, otettiin siitä lisäksi näytteet. Lehmien päivittäinen karkearehun ja väkirehun syönti laskettiin vähentämällä jäännösrehun määrä jaetusta rehumäärästä.

2.3 Elopaino ja kuntoluokitus

Eläimet punnittiin erillisellä lehmäva'alla sekä ennen kokeen alkua että kokeen loputtua kahtena peräkkäisenä päivänä samaan kellonaikaan. Peräkkäisten päivien punnitustuloksista laskettiin keskiarvo.

Kuntoluokitus tehtiin kokeen alkaessa ja sen jälkeen jokaisen jakson viimeisenä päivänä yhteensä viisi kertaa. Kuntoluokituksissa arvioitiin lehmistä kahdeksan eri kohtaa 1 - 5 pisteen asteikolla 0,25 pisteen tarkkuudella. Pisteistä laskettiin keskiarvona lehmän kuntoluokka (Edmonson ym. 1989). Kuntoluokituksen suorittivat kaksi eri henkilöä, jotka luokittivat kaikki lehmät. Tulosten laskennassa käytettiin näiden kahden luokituksen keskiarvoa. Kuntoluokan muutokset laskettiin vähentämällä jakson jälkeinen kuntoluokka sitä edeltävästä kuntoluokitus tuloksesta.

2.4 Maitotuotos ja maidon koostumus

Lehmien maitotuotosta seurattiin koko kokeen ajan. Lehmät lypsettiin putkilypsykoneella (DelPro, DeLaval, Ruotsi) kaksi kertaa päivässä klo 6.15 ja 17.00. Maitomäärä mitattiin jokaisella lypsykerralla (Tru-Test, Uusi-Seelanti).

Jakson 17. - 19. päivinä otettiin maitonäytteet neljältä peräkkäiseltä lypsykerralta ja ne analysoitiin lypsykerroittain ja lehmittäin. Näytteet säilöttiin Bronopol-pillerillä ja analysoitiin Valio Oy:n aluelaboratoriossa Seinäjoella. Maitonäytteistä määritettiin rasva, valkuainen, laktoosi, urea ja solut.

2.5 Sulavuus

Fistelilehmille tehtiin sonnan ja virtsan kokonaiskeruu jokaisen jakson viimeisellä viikolla kolmena peräkkäisenä päivänä (jakson päivät 17. - 20.).

Sonnan keruu aloitettiin klo 12.00 jakson 17. päivä ja lopetettiin klo 12.00 jakson 20. päivä. Kaikki sonna kerättiin saaveihin ja sonnan määrä punnittiin kahdesti vuorokaudessa (05.00 ja 18.00). Punnituksen yhteydessä sonna sekoitettiin ja siitä otettiin edustavat näytteet (6,5 % sonnan kokonaispainosta), jotka pakastettiin. Typpimääritys tehtiin heti tuoreesta sonnasta.

Virtsan kerättiin eläimiin kiinnitettävän virtsankeruulaitteen avulla. Laite liimattiin lehmien ulkoisten synnyttimien ympärille, josta lähti letku keruuastiaan. Keruuastian pohjalle laitettiin 10 N rikkihappoa ammoniakkihaihtumisen estämiseksi. Tarvittava hapen määrä tarkastettiin eläimittäin ja näytekerroittain pH- määrittämisen avulla. Hapen määrää säädeltiin siten, että pH:n tuli olla alle 3. Virtsan määrä punnittiin keruupäivinä kaksi kertaa vuorokauden aikana (05.00 ja 18.00). Punnittamisen yhteydessä virtsasta otettiin keruunäyte (0,3 % virtsan kokonaismäärästä). Näytteet säilytettiin pakastimessa.

2.6 Pötsikäyminen

Jokaisen jakson 14. päivänä otettiin pötsinesteestä näyte (100–150 ml) juuri ennen aamuruokintaa (klo 6.00) ja sen jälkeen 1,5 tunnin välein klo 7.30, 9.00, 10.30, 12.00, 13.30, 15.00 ja 16.30. Näyte otettiin fistelin kautta pötsinäytteenottolaitteella, joka koostui metalliputkesta ja putken päässä olevasta lisäosasta, jossa oli reikiä. Pötsineste imettiin alipainepumpulla lasipulloon. Pötsineste suodatettiin yksinker-taisen harsokankaan läpi, jonka jälkeen siitä mitattiin pH.

Suodoksesta otettiin alkueläinten laskentaa varten 10 ml:n osanäyte, johon lisättiin 30 ml 10 % (v/v) formaldehydiä laimennettuna fysiologiseen 0,9% (W/v) suolaliuokseen. Alkueläinnäyte kerättiin lehmittäin päivän ajalta ja säilytettiin jääkaapissa. Näytteet värjättiin värjäysliuoksella (1g metyyliivihreää, 2 ml jääetikkaa, 100 ml tislattua vettä) sekoittamalla vähintään 30 minuutin ajaksi 5 ml näytettä ja 100 µl värjäysliuosta. Värjäyksen jälkeen alkueläimet laskettiin Fuchs-Rosenthal laskukammiolla mikroskoopilla.

Haihtuvien rasvahappojen (VFA) määrittystä varten 25 ml:n näytepulloon pipetoitiin 0,5 ml kyllästettyä elohopeakloridia, 5 ml pötsinestettä ja 2 ml 1N NaOH, jonka jälkeen näyte pakastettiin välittömästi -20 °C:een. Eri näytteenottoaikoina otetuista näytteistä määritettiin etikka-, propioni-, voi-, isovoi-, kaproni-, valeriaana- ja isovaleriaanahappo.

Ammoniumtypen määrittystä varten 25 ml:n näytepulloon pipetoitiin 0,3 ml 50 % H₂SO₄, jonka jälkeen näyte pakastettiin välittömästi -20 °C:een.

2.7 Näytteiden analysointi

Kemialliset analyysit rehu-, sonta- ja virtsanäytteistä tehtiin Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitoksen kotieläintieteen laboratoriossa. Säilö- ja väkirehuista analysoitiin primäärinen ja sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, aminohapot ja NDF. Säilörehusta analysoitiin lisäksi maitohappo, haihtuvat rasvahapot, etanoli, pelkistävät sokerit ja ammoniumtyppi sekä *in vitro* -sulavuus. Väkirehuista analysoitiin lisäksi tärkkelys. Härkäpavusta määritettiin haitta-aineiden visiinin ja konvisiinin pitoisuudet. Sonnasta analysoitiin primäärinen ja sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, tärkkelys ja NDF.

Primäärinen kuiva-aine määritettiin kuivaamalla näytteitä lämpökaapissa 103 °C asteessa 20 - 24 h ajan. Pakastetut näytteet kuivattiin tuulettavassa kuivauskaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Saksa) analyysinäytteeksi ensin 103 °C:ssa tunnin ajan, jonka jälkeen 50 °C:ssa kahden vuorokauden ajan. Kuivatut rehunäytteet jauhettiin KT-sakomyllyllä 1 mm:n seulalla ja sontanäytteet 1,5 mm seulalla. Sekundäärinen kuiva-aine määritettiin jauhetusta analyysinäytteestä 103 °C:ssa lämpökaapissa 20 - 24

h. Tuhka määritettiin polttamalla näytettä muhveliuunissa 600 °C lämpötilassa 20 – 24 h ajan. Typpipitoisuus analysoitiin Kjeldahl –menetelmällä (AOAC 1995). Määrittämisessä käytettiin polttolaitetta (Tecator Digestion Auto, Tecator Scubber) ja tislauksen ja titrauslaitteistoa (Foss Kjeltex Auto 2300 Analyzer). Säilörehun raakavalkuaispitoisuus laskettiin kertomalla typpipitoisuus luvulla 6,25 ja maidon typpipitoisuus jakamalla valkuaispitoisuus luvulla 6,38. Neutraalidetergent-tikuitten määrittäminen Van Soestin ym. (1991) mukaan kuituanalysaattorilla (Tecator Fibertec System 1020 hot extractor ja 1021 cold extractor, Foss, Hilleroed, Tanska). NDF-tulokset on ilmaistu työssä jäännöstuhkan kanssa.

Maitohappo määritettiin kolorimetrisesti spektrofotometrillä (Shimadzu UV mini 1240, Shimadzu Europa GmbH) (Barker ja Summerson 1941). Haihtuvat rasvahapot säilörehun ja pötsinäytteistä, rehujen aminohappopitoisuudet sekä härkäpavun haitta-aineiden pitoisuudet (visiini ja konvisiini) määritettiin nestegromatografilla (Acquity UPLC, Waters, USA). Etanoli määritettiin entsyymikitillä (cat. No 176 290, Boehringer Mannheim, German) käyttäen valmistajan esittämää menetelmää ja spektrofotometriä (Shimadzu UV mini 1240, Shimadzu Europa GmbH). Pelkistävät sokerit eli vesiliukoiset hiilihydraatit määritettiin spektrofotometrillä (UVmini-1240, Shimadzu Corporation, Japani) (Somogyi 1945, Salo 1965). Ammoniumtyppi määritettiin spektrofotometrillä (Shimadzu UV mini 1240, Shimadzu Europa GmbH) McCulloughin (1967) menetelmällä. Tärkkelyspitoisuus määritettiin Salon ja Salmen (1968) mukaan. *In vitro* -sulavuus määritettiin sellulaasi-pepsiini -menetelmällä (Friedel 1990) Nonsiäisen ym. (2003) muunnelmalla käyttäen. Tulokset muunnetaan *in vivo* -sulavuutta vastaavaksi käyttämällä suomalaisiin *in vivo* -sulavuuskokeisiin perustuvia korjausyhtälöitä (Huhtanen ym. 2006). Kokonaisrasva määritettiin eetteri-uutolla, johon yhdistettiin HCl-hydrolyysi (FOSS Soxtec 8000, SoxCap 20471) (Komissio 2009).

Säilörehun ja pötsin pH määritettiin navettalaboratoriossa näytteenoton jälkeen pH-mittarilla (S20 SevenEasy™ pH, Mettler-Toledo Ltd, Iso-Britannia). Säilörehun pH määritettiin näytteestä puristetusta nesteestä koko kokeen ajan.

2.8 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi

Tilastollisissa analyyseissä käytettiin jakson viimeisen seitsemän vuorokauden (keruujakso) tuloksia. Säilörehun kuiva-ainetulokset korjattiin haihtuvien yhdisteiden osalta Huidan ym. (1986) mukaan. Säilörehun muuntokelpoinen energia (ME) laskettiin rehun sisältämän sulavan orgaanisen aineen (D-arvo) perusteella kertomalla D-arvo luvulla 0,016 (MTT 2010). ME ja ohutsuolesta imeytyvä valkuainen (OIV) väkirehulle olivat rehun valmistajan ilmoittamia arvoja, jotka oli laskettu Rehutaulukoiden (MTT 2010) rehujen raaka-aineiden perusteella.

Säilörehun OIV ja pötsivalkuaistase (PVT) laskettiin rehujen kemiallisen koostumuksen ja rehutaulukoiden vakioiden avulla (MTT 2010):

$$\text{OIV} = \text{OIV}_{\text{mv}} + \text{OIV}_{\text{ov}}$$

$$\text{PVT} = \text{hv} - \text{mv}$$

$$\text{OIV}_{\text{mv}} = \text{ahmv} \times \text{smv} \times \text{mv}$$

$$\text{OIV}_{\text{ov}} = \text{sov} \times \text{ov}$$

$$\text{mv} = 152 \times (\text{D-arvo} - \text{ov}) / 1000$$

$$\text{hv} = \text{hvo} \times \text{rv}$$

$$\text{ov} = \text{rv} - \text{hv} = (1 - \text{hvo}) \times \text{rv}$$

jossa:

OIV = ohutsuolesta imeytyvät aminohapot (g/kg rehun ka), PVT = pötsin valkuaistase (g/kg rehun ka), mv = mikrobivalkuaisen tuotanto (g/kg rehun ka), hv = hajoava valkuainen (g/kg rehun ka), ov = ohitusvalkuainen (g/kg rehun ka), OIV_{mv} = ohutsuolesta imeytyvä mikrobivalkuainen, OIV_{ov} = ohutsuolesta imeytyvä ohitusvalkuainen, D-arvo = rehun sulava orgaaninen aine (g/kg rehun ka), hvo = hajoavan valkuaisen osuus, rv = rehun raakavalkuainen (g/kg rehun ka), ahmv = aminohappojen osuus mikrobivalkuaisesta (vakion arvo 0,75), smv = mikrobivalkuaisen sulavuus (vakion arvo 0,85), sov = ohitusvalkuaisen sulavuus (vakion arvo 0,82)

Energiakorjattu maitotuotos laskettiin Sjaunjan ym. (1990) mukaan. Rehujen ja sonnan orgaaninen aine laskettiin kuiva-aineen ja tuhkan erotuksena.

Väkirehun syönti-indeksi laskettiin Huhtasen ym. (2008) mukaan:

$$\text{Väkirehun syönti-indeksi} = 100 + 10 \times [(\text{VR-syönti} - 0,1629 \times \text{VR-syönti} - 0,01882 \times \text{VR-syönti}^2 - 5,49) + ((0,9474 \times \text{RV-saanti} - 0,4965 \times \text{RV-saanti}^2) - 2,017 \times (\text{VR}$$

$$\text{HVO} - 0,74)) + 0,00225 * \text{VR-kuitupit.} - 250) - 0,0103 * (40 - \text{VR-rasvapit.}) - 0,00058 * (\text{VR-syönti} - 8,0) * (\text{säilörehun syönti-indeksi} - 100)]$$

jossa VR-syönti = väkirehun syönti (kg ka/pv), RV-saanti = väkirehusta saatava raakavalkuainen siltä osin kun väkirehun valkuaispitoisuus ylittää 170 g/kg ka (kg/pv), VR HVO = väkirehun valkuaisen pötsissä hajoava osuus laskettuna väkirehukomponenttien Rehutaulukoissa (MTT 2010) ilmoitettujen HVO-arvojen painotettuna keskiarvona (g/g), VR-kuitupit. = väkirehun neutraalidetergentti-menetelmällä määritetty kuitupitoisuus (g/kg ka), VR-rasvapit. = väkirehun raakarasvapitoisuus (g/kg ka)

Säilörehun syönti-indeksi laskettiin Huhtasen ym. 2007 mukaan:

$$\begin{aligned} \text{Säilörehun syönti-indeksi} = & 100 + 10 * [(D\text{-arvo} - 680) * 0,0170 - (TA - 80) * 0,0128 \\ & + (0,0198 * (KA - 250) - 0,00002364 * (KA^2 - 250^2)) - 0,44 * a + 4,13 * b - 2,58 * \\ & b^2 + 5,90 * c - 6,14 * c^2 - 0,0023 * (550 - \text{NDF})] \end{aligned}$$

jossa D-arvo = orgaanisen aineen sulavuus (g/kg ka), TA = kokonaishappopitoisuus (g/kg ka), KA = kuiva-ainepitoisuus (g/kg ka), a = jälkikasvusäilörehun osuus (0 = ensimmäinen sato, 1 = jälkisato), b = puna-apilan osuus säilörehun kuiva-aineesta (0 – 0,5), c = kokoviljasäilörehun osuus kuiva-aineesta (0 – 0,5), NDF = neutraalidetergenttikuitu.

Lehmän energiansaannille, energiataseelle ja ME:n hyväksikäytölle laskettiin myös korjattu ME-arvo, joka ottaa huomioon rehujen kuiva-aineen syöntiä sekä rehuannoksen energia- ja raakavalkuaispitoisuutta. Siihen käytettiin seuraavaa korjausyhtälöä (MTT 2010):

$$\text{Korjattu ME-saanti (MJ/pv)} = \text{Korjaamaton ME-saanti (MJ/pv)} - (-56,7 + 6,99 \times \text{MEyp} + 1,621 \times \text{ka-syönti} - 0,44595 \times \text{rv-pit} + 0,00112 \times \text{rv-pit}^2)$$

jossa ka-syönti = kuiva-aineen syönti, kg/pv, MEyp = rehuannoksen korjaamaton ME-pitoisuus, MJ/kg ka, rv-pit = rehuannoksen raakavalkuaispitoisuus, g/kg ka

ME:n ja OIV:n tarve ylläpitoon laskettiin MTT 2010 Rehutaulukoiden mukaan. Energia- ja OIV-taseet laskettiin vähentämällä lehmien ravintoaineiden saannista niiden tarve. Ravintoaineiden tarpeet laskettiin MTT 2010 rehutaulukoiden ja ruokintasuositusten mukaan energiakorjatun maitotuotoksen ja elopainon perusteella.

Energian hyväksikäyttö (k_i) laskettiin kaavalla:

$$\text{Energian hyväksikäyttö} = \frac{\text{Maidon energia}}{\text{ME saanti} - \text{ME tarve ylläpitoon}}$$

ja OIV:n hyväksikäyttö laskettiin kaavalla:

$$\text{OIV hyväksikäyttö} = \frac{\text{Maidon valkuaistuotos}}{\text{OIV saanti} - \text{OIV tarve ylläpitoon}}$$

Kuiva-aineen (ka) näennäinen sulavuus laskettiin seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\text{sulavuus } ka = \frac{\text{rehu } ka \text{ (kg)} - \text{sonta } ka \text{ (kg)}}{\text{rehu } ka \text{ (kg)}}$$

Vastaavasti laskettiin orgaanisen aineen ja raakavalkuaisen näennäinen sulavuus ja NDF:n sekä tärkkelyksen sulavuus.

Tilastollisissa vertailuissa käytettiin SAS-ohjelmiston versiota 9.3 ja sen Mixed proseduuria.

Varianssianalyysissä käytetty tilastomalli sulavuuden osalta oli:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + D_k + f_{ijk}$$

jossa μ on keskiarvo, S neliön vaikutus, A eläimen vaikutus, P jakson vaikutus, D ruokinnan vaikutus ja f virhetermi

Maidontuotantotulosten, kuntoluokituksen ja syönnin osalta käytetty tilastomalli oli:

$$y_{ijkl} = \mu + S_i + A(S)_{ij} + P_k + D_l + f_{ijkl}$$

jossa μ on keskiarvo, S neliön vaikutus, $A(S)$ eläimen vaikutus neliössä, P jakson vaikutus, D ruokinnan vaikutus ja f virhetermi

Pötsifermentaation tulosten analysoinnissa tilastomalliin lisättiin ajan vaikutus:

$$y_{ijkl} = \mu + A_i + P_j + D_k + T_l + D * T_{kl} + f_{ijkl}$$

jossa μ on keskiarvo, S neliön vaikutus, A eläimen vaikutus, P jakson vaikutus, D ruokinnan vaikutus, T ajan vaikutus, $D \times T$ ruokinnan ja ajan yhdysvaikutus ja f virhetermi

Ruokinnan neliösumma jaettiin seuraaviin ortogonaalisiin kontrasteihin: 1. valkuaisrehun vaikutus, jossa valkuaisrehujen vaikutusta verrattiin kontrolliruokintaan 2. härkäpavun lineaarinen vaikutus, jossa härkäpapua verrattiin rypsiin ja 3. II asteen vaikutus, jossa selvitettiin rypsin ja härkäpavun seoksen vaikutusta (jos seoksella saadaan suurempi/pienempi vaste kuin näiden ruokintojen keskiarvolla, on niillä yhdysvaikutusta).

Tilastollisissa analyyseissä merkitsevän eron rajana pidettiin P -arvoja, joista $P < 0,001$ on erittäin merkitsevä, $P < 0,01$ on hyvin merkitsevä, $P < 0,05$ on merkitsevä ja $P < 0,1$ on suuntaa antava.

3 Tulokset

3.1 Rehujen kemiallinen koostumus

Rehujen kemialliset koostumukset ja ravitsemuksellinen arvo ovat taulukossa 3. Säilörehun kuiva-ainepitoisuus oli 276 g/kg ka. Säilörehun pH oli 3,91, joka on alle suositellun rajan (pH 4). Myös muilta säilönnällisiltä ominaisuuksiltaan

(ammoniakkityppi, sokerit, maitohappo, etikkahappo, voihamppu, etanoli) säilörehu oli hyvää (Artturi). Liukoisen typen osuus kokonaistypestä oli suuri, kun Artturi-analyysin mukainen tavoitearvo hyvälle säilörehulle on alle 400 g/kg N ja tässä säilörehussa se oli 653 g/kg N. Säilörehun D-arvo oli 709 g/kg ka, joka kertoi hyvästä sulavuudesta. Rehun raakavalkuaispitoisuus (rv-pitoisuus) 175 g/kg ka oli myös suurehko, kun Artturi-analyysin mukaan tavoiteltava arvo on 130 – 170 g/kg ka. Säilörehun syönti-indeksi (108) oli suurempi kuin indeksiarvo 100, joka kuvaa hyvin säilyneen ja aikaisin korjatun rehun syönti-indeksiä.

Valkuaisväkirehujen kuiva-ainepitoisuus vaihteli välillä 866 – 875 g/kg ka. Kontrolliväkirehun rv-pitoisuus oli 147 g/kg ka ja enemmän valkuaista sisältävien väkirehujen rv-pitoisuus vaihteli härkäpapurehussa ollen pienin 196 g/kg ka ja rypsirehussa suurin 202 g/kg ka. Kontrollirehun ja valkuaisväkirehujen välillä oli riittävä ero rv-pitoisuudessa, jota koekäsittelyillä haettiin. Kontrollirehussa oli muita väkirehujakin enemmän tärkkelystä (374 g/kg ka), koska se muodostui suurimmaksi osaksi viljasta. Härkäpapurehussa tärkkelyspitoisuus 334 g/kg ka oli suurempi kuin rypsirehussa 294 g/kg ka, koska härkäpavussa on luontaisesti enemmän tärkkelystä. Väkirehujen energiapitoisuus (ME MJ/kg ka) oli lähes sama ollen keskimäärin 12,4 ME MJ/kg ka. Syönti-indeksi oli väkirehuista kontrollilla selkeästi pienin ollen 134. Enemmän valkuaista sisältävien väkirehujen syönti-indeksi oli noin 10 indeksipistettä suurempi.

Valkuaisväkirehujen aminohappopitoisuus (g/kg ka, tuloksia ei esitetty) oli suurempi kuin kontrollirehun, suuria eroja ei ollut kuitenkaan g/100 g raakavalkuaista. Eri väkirehut sisälsivät histidiiniä lähes saman verran. Härkäpapua sisältävissä väkirehuissa oli vähemmän metioniinia kuin rypsirehussa ja kontrollirehussa. Metioniinia oli härkäpapurehussa kuitenkin enemmän kuin MTT 2010 rehutaulukoiden mukaan (0,6 g/100 g valkuaista). Lysiiniä kontrollirehussa oli enemmän valkuaisväkirehuissa kuin kontrollirehussa.

Taulukko 3. Rehujen kemiallinen koostumus ja laskennallinen rehuarvo

	Säilörehu ¹	Väkirehut			
		Kontrolli	Rypsi	Rypsi/HP ²	Härkäpapu
Kuiva-aine g/kg ka	276	875	873	870	866
pH	3,91				
Kuiva-aineessa, g/kg					

Tuhka	79,7	54,4	64,6	63,9	63,0
Raakavalkuainen	175	147	202	199	196
NDF ³	520	215	221	195	169
Tärkkelys		374	294	315	334
D-arvo ⁴	709				
ME ⁵ , MJ/kg ka	11,3	12,5	12,3	12,4	12,6
OIV ⁶	89	99	114	112	110
PVT ⁷	44,8	-8,6	26,3	36,3	46,5
Syönti-indeksi ⁸	108	134	144	144	143
Aminohapot g/100 g RV⁹					
Histidiini		2,2	2,2	2,2	2,1
Metioniini		1,4	1,6	1,3	1,1
Lysiini		3,1	3,9	4,2	4,6
Seriini		6,1	5,8	6,1	6,3
Arginiini		4,4	4,6	5,2	5,8
Glysiini		8,2	8,4	8,2	8,0
Asparagiini		6,5	6,9	7,9	8,9
Glutamiini		19,9	18,8	18,7	18,6
Treoniini		4,0	4,4	4,2	4,1
Alaniini		6,7	6,5	6,4	6,4
Prolini		8,8	8,3	7,8	7,3
Tyrosiini		2,9	2,5	2,6	2,7
Valiini		5,6	5,6	5,6	5,6
Isoleusiini		3,8	3,9	4,0	4,2
Leusiini		7,5	7,1	7,3	7,4
Fenyyialaniini		4,2	3,7	3,9	4,0
Kysteiini		1,6	1,9	1,8	1,6
Tryptofaani		0,6	0,5	0,6	0,6

¹NH₃-N 56 g/kg N, sokerit 48 g/kg ka, maitohappo 62 g/kg ka, etikkahappo 12 g/kg ka, voihiappo 1 g/kg ka, etanoli 5 g/kg ka, liukoisen typen osuus kokonaistypestä 653 g/kg N ²Rypsin ja härkäpavun seos 1:1, ³Neutraalidetergenttikuitu, ⁴Sulava orgaaninen aine, ⁵Muuntokelpoinen energia, ⁶Ohutsuolesta imeytyvä valkuainen,

⁷Pötsivalkuaistase, ⁸Säilörehu Huhtanen ym. 2007 ja väkirehu Huhtanen ym. 2008,

⁹Raakavalkuainen

Visiinin pitoisuus härkäpavussa oli keskimäärin 5,01 mg/g ka (keskihajonta 0,21) ja pitoisuus härkäpapua sisältävässä pellettirehussa oli 0,49 mg/g ka (keskihajonta 0,16). Konvisiinin pitoisuus härkäpavussa oli keskimäärin 3,42 mg/g ka (keskihajonta 0,12) ja pellettirehussa 0,35 mg/g ka (keskihajonta 0,10).

3.2 Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti

Lehmät söivät säilörehua valkuaisruokinnoilla 2,4 kg ka/pv enemmän kuin kontrolliruokinnalla ($P<0,01$) (Taulukko 4.). Rypsirouheen korvaaminen härkäpavulla lisäsi säilörehun syöntiä 2,7 kg ka/pv ($P<0,01$). Erot säilörehun syönnissä vaikuttivat kuiva-aineen kokonaissyöntiin siten, että valkuaisruokinnoilla kokonaissyönti oli keskimäärin 22,0 kg ka/pv, kun se kontrolliruokinnalla oli 19,4 kg ka/pv ($P<0,001$). Kokonaissyönti oli myös suurempaa korvattaessa rypsiä härkäpavulla ($P<0,01$), jolloin kokonaissyönti oli härkäpavulla 23,2 kg ka/pv ja rypsillä 20,1 kg ka/pv. Orgaanisen aineen syönnissä oli samansuuntaiset tilastollisesti merkitsevät erot niin verrattaessa valkuaisruokintoja (20,4 kg/pv) kontrolliruokintaan (18,1 kg/pv) ($P<0,01$), kuin verrattaessa rypsirouhetta (18,6 kg/pv) ja härkäpapua (21,5 kg/pv) ($P<0,01$).

Kuten odotettua, lehmät söivät raakavalkuaista enemmän valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla (4,1 vs. 3,1 kg/pv, $P<0,001$). Kuitenkin raakavalkuaisen syönti oli suurempaa myös korvattaessa rypsiä härkäpavulla (3,8 vs. 4,3 kg/pv, $P<0,01$). Laskennassa otettiin huomioon sekä väkirehussa että säilörehussa syöty raakavalkuainen.

Lehmät söivät NDF:ää enemmän valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla (7,5 vs. 6,5 kg/pv, $P<0,01$). Myös korvattaessa rypsirouhe härkäpavulla lehmät söivät enemmän NDF:ää (6,9 vs. 7,8 kg/pv, $P<0,05$). Lehmät söivät tärkkelystä vähemmän valkuaisruokinnoilla 3,7 kg/pv, kun tärkkelyksen syönti kontrolliruokinnalla oli 4,4 kg/pv ($P<0,001$). Rypsiä härkäpavulla korvattaessa tärkkelyksen syönti oli 0,6 kg/pv enemmän ($P<0,001$).

ME-saanti (korjattu) oli suurempaa valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla (246 vs. 218 MJ/pv, $P<0,01$). Valkuaisruokintoja verrattaessa rypsiuokinnalla energiansaanti oli pienempi (238 MJ/pv) kuin härkäpuruokinnalla (278 MJ/pv) ($P<0,01$). Rypsin ja härkäpavun seoksella energiansaanti oli suurempaa kuin rypsillä ja härkäpavulla keskimäärin (255 vs. 242 MJ/pv, $P<0,1$). Ruokinnan energia-pitoisuus oli valkuaisruokinnoilla pienempi (11,9 MJ g/kg ka) kuin kontrolliruokinnalla (12,1 MJ g/kg ka) ($P<0,001$). Korvattaessa rypsiä härkäpavulla oli ruokinnan energiapitoisuus suurempi (11,9 vs. 12,0 ME MJ g/kg ka, $P<0,001$). Ruokinnan energiapitoisuudet eivät kuitenkaan eronneet numeerisesti kovin paljon.

Valkuaistäydennys lisäsi lehmien OIV:n saantia (2081 – 2317 g/pv) verrattuna kontrolliruokinnalla olleiden lehmien OIV:n saantiin (1842 g/pv) ($P<0,001$). Korvattaessa rypsiä härkäpavulla lehmien OIV:n saanti lisääntyi 236 g/pv ($P<0,01$). PVT pitoisuus oli valkuaisruokinnoilla suurempi kuin kontrolliruokinnalla, joista se erosi selkeästi (39,8 vs. 12,1 g/kg ka, $P<0,001$). Valkuaisruokinnoista rypsillä PVT pitoisuus jäi pienimmäksi (33,6 g/kg ka) ja härkäpapuruokinnalla se oli suurin (45,5 g/kg ka), ero korvattaessa rypsi härkäpavulla oli merkitsevä ($P<0,001$).

Korjattu energiatase (ME (k)) oli suurempi valkuaisruokintoja kontrolliruokintaan verrattaessa (13,5 vs. -5,7 g/pv, $P<0,01$). Myös korvattaessa rypsiä härkäpavulla oli energiatase suurempi (-1,7 vs. 19,4 g/pv, $P<0,001$). OIV-taseella oli eroa ainoastaan valkuaisruokintoja (114 g/pv) kontrolliruokintaan (-26 g/pv) verrattaessa ($P<0,001$). Taseista negatiivisiksi jäivät energia- (k) ja OIV-tase kontrolliruokinnalla sekä rypsi-ruokinnalla energiatase (k), näin ollen niistä oli puutetta laskennalliseen tarpeeseen nähden. Rypsi-härkäpapu seosruokinnalla ja härkäpapuruokinnalla energian ja valkuaisen saanti tarpeeseen nähden ylittyi.

Taulukko 4. Syönti ja ravintoaineiden saanti sekä energia ja OIV-taseet¹

	Ruokinnat				SEM ⁴	Kontrastit ²		
	Kontrolli	Rypsi	Rypsi/Hp	Hp ³		1	2	3
Havainnot	8	7	7	8				
Syönti ja ravintoaineiden saanti								
Säilörehu, kg ka/pv	7,6	8,4	10,6	11,1	0,80	**	**	
Väkirehu, kg ka/pv	11,8	11,7	12,2	12,0	0,23			
Yhteensä, kg ka/pv	19,4	20,1	22,8	23,2	0,88	***	**	
Vr ⁵ osuus, %	61,0	60,0	53,6	52,6	2,25			
Orgaaninen aine, kg/pv	18,1	18,6	21,1	21,5	0,81	**	**	

Raakavalkuainen, kg/pv	3,1	3,8	4,3	4,3	0,16	***	**	
NDF ⁶ , kg/pv	6,5	6,9	7,8	7,8	0,43	**	*	
Tärkkelys, kg/pv	4,4	3,4	3,8	4,0	0,09	***	***	
ME ⁷ , MJ/pv	234	238	272	278	10,0	**	***	
ME ⁷ , MJ/pv (k) ⁸	218	225	255	259	9,3	**	**	o
OIV ¹ , g/pv	1842	2081	2310	2317	80,0	***	**	
PVT ⁹ , g/kg ka	12,1	33,6	40,2	45,5	0,45	***	***	
ME ⁷ , MJ g/kg ka	12,1	11,9	11,9	12,0	0,02	***	***	
Taseet								
Energiatase ¹⁰ , g/pv	11,1	13,3	27,4	40,2	6,25	**	***	
Energiatase (k) ⁸ , g/pv	-5,7	-1,7	7,6	19,4	6,27	**	***	
OIV-tase ¹ , g/pv	-26	108	106	127	24,7	***		

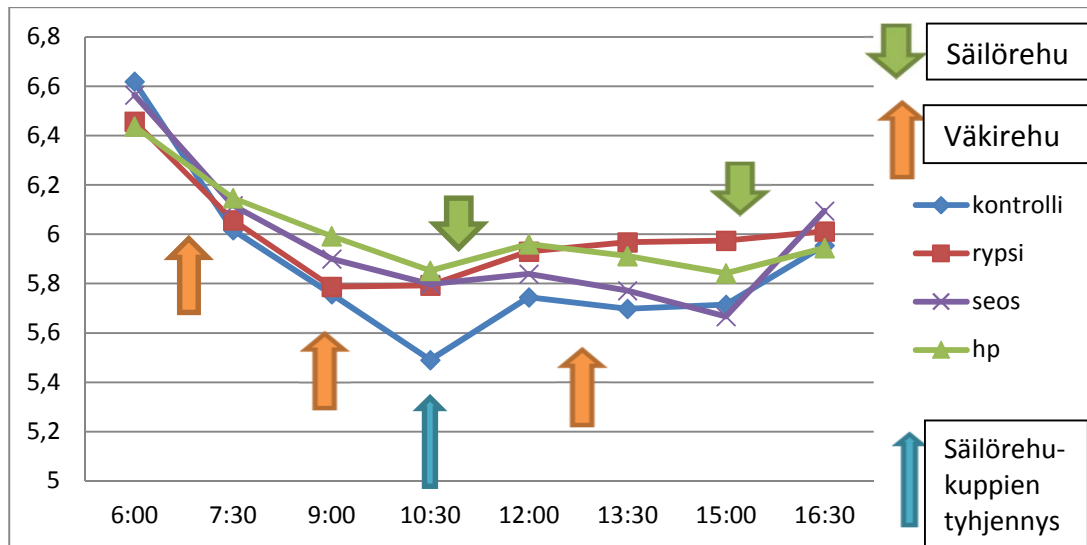
¹Ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, ²1 = Kontrolli vs. muut, 2 = Rypsi vs. härkäpapu, 3 = Rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutus, ³Härkäpapu, ⁴Puuttuvien arvojen kohdalla valittu suurin SEM arvo, ⁵Väkirehu, ⁶Neutraalidetergenttikuitu, ⁷Muuntokelpoinen energia, ⁸Korjattu energia-arvo (MTT 2010), ⁹Pötsivalkuaistase, ¹⁰Laskennallinen

***P<0,001, **P<0,01, *P<0,05, oP<0,10

3.3 Sulavuus ja pötsifermentaatio

Raakavalkuaisen sulavuus oli valkuaisruokinnoilla suurempi kuin kontrolliruokinnalla (0,725 vs. 0,689) (P<0,01) (Taulukko 5.). Korvattaessa rypsirouhetta härkäpavulla oli raakavalkuaisen sulavuus pienempi (0,733 vs. 0,711) (P<0,05). Tärkkelyksen sulavuudessa puolestaan valkuaisruokinnoilla (0,960 - 0,963) sulavuus oli pienempi kuin kontrolliruokinnalla (0,972) (P<0,05).

Pötsifermentaatioissa ei ollut havaittavissa tilastollista ruokinta*aika yhdysvaikutusta, joten tulokset on esitetty Taulukossa 5. ruokinnoittain. Pötsin pH ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi ruokintojen välillä. Kontrolliruokinnalla pötsin pH kuitenkin laski alemmas kuin muilla ruokinnoilla (Kuvio 1). Tämä oli havaittavissa heti säilörehukuppien tyhjennyksen jälkeen, jolloin pötsin pH oli selkeästi alhaisin. Pötsin pH:n minimiarvo erosi tilastollisesti merkitsevästi valkuaisruokintoja kontrolliin verrattaessa. Pötsifermentaatioissa muodostuvan ammoniumtypen pitoisuus oli valkuaisruokinnoilla huomattavasti suurempi kontrolliruokintaan verrattaessa (11,8 vs. 7,4 mmol/l, P<0,001). Ajan suhteen ammoniumtypen pitoisuudessa ei ollut ruokinta*aika yhdysvaikutusta (Kuvio 2.).



Kuvio 1. Pötsin pH:n vaihtelu eri ruokinnnoilla. Säilö- ja väkirehun jakokerrat on osoitettu nuolilla.

Pötsin haihtuvien rasvahappojen pitoisuus vaihteli koeruokintojen välillä (120 – 125 mmol/l) melko vähän eikä siinä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Etikka- ja propionihapon osuudet VFA:sta eivät eronneet eri ruokintojen välillä merkitsevästi. Voihapon osuus VFA:sta oli valkuaisruokinnnoilla pienempi kuin kontrolliruokinnalla (14,3 vs. 16,1 mmol/100 mmol, $P<0,05$). Etikka-, propioni- ja voihapon osuudet on esitetty näytteenottoerittäin ajan suhteen kuvioissa 3, 4 ja 5. Isovoihapon (0,87 vs. 0,80 mmol/100 mmol, $P<0,05$) ja isovaleriaanahapon (0,60 vs. 0,51 mmol/100 mmol, $P<0,01$) osuus VFA:sta oli valkuaisruokinnalla suurempi verrattaessa kontrolliruokintaan. Isovoihapon (0,83 vs. 0,92 mmol/100 mmol, $P<0,05$) ja isovaleriaanahapon (0,57 vs. 0,64 mmol/100mmol) osuus VFA:sta oli rypsirouhetta härkäpavulla korvattaessa suurempi.

Taulukko 5. Sulavuus ja pötsifermentaatio

	Ruokinnat				SEM	Kontrastit ¹		
	Kontrolli	Rypsi	Rypsi/Hp	Hp ²		1	2	3
Havaintoja	4	4	4	4				
Sulavuus								
Kuiva-aine	0,750	0,752	0,749	0,758	0,0071			
Orgaaninen aine	0,764	0,766	0,768	0,759	0,0074			
Raakavalkuainen	0,689	0,733	0,732	0,711	0,0068	**	*	
NDF ³	0,610	0,616	0,635	0,631	0,0281			
Tärkkelys	0,972	0,962	0,963	0,96	0,0023	*		

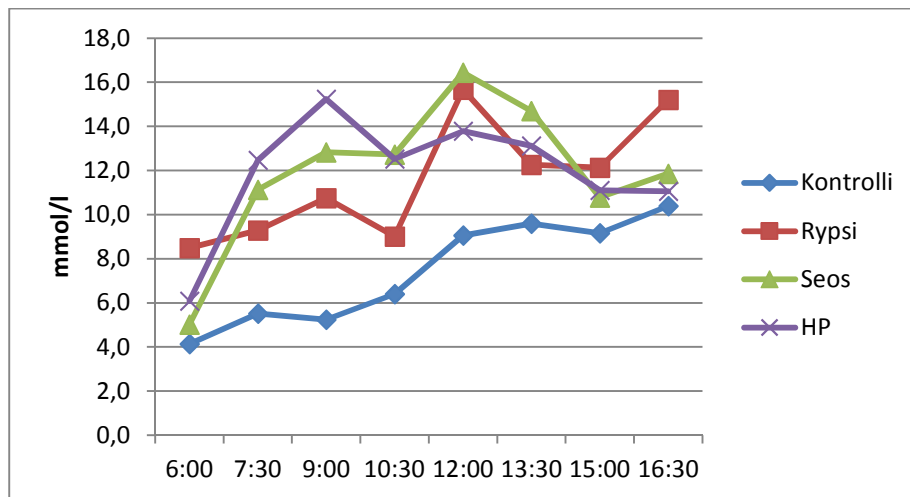
Pötsifermentaatio

pH	5,9	6,0	6,0	6,0	0,06		
pH minimi	5,4	5,6	5,7	5,7	0,10	**	
Alkueläimet, kpl x 10 ⁵	11,4	10,2	11,0	10,5	2,92		
Ammonium-N, mmol/l	7,4	11,6	11,9	11,9	1,53	***	
VFA ⁴ yht, mmol/l	124	125	122	120	5,1		
Etikkahappo, mmol/100 mmol	63,3	61,9	63,4	62,8	0,90		
Propionihappo, mmol/100 mmol	16,4	19,8	17,9	18,2	1,20		
Isovoihappo, mmol/100 mmol	0,80	0,83	0,85	0,92	0,071	*	*
Voihappo, mmol/100 mmol	16,1	13,5	14,7	14,7	0,51	*	
Isovaleriaanahappo, mmol/100 mmol	0,51	0,57	0,58	0,64	0,059	**	*
Valeriaanahappo, mmol/100 mmol	1,85	2,45	1,84	1,84	0,333		
Kapronihappo, mmol/100 mmol	1,03	0,94	0,75	0,93	0,117		

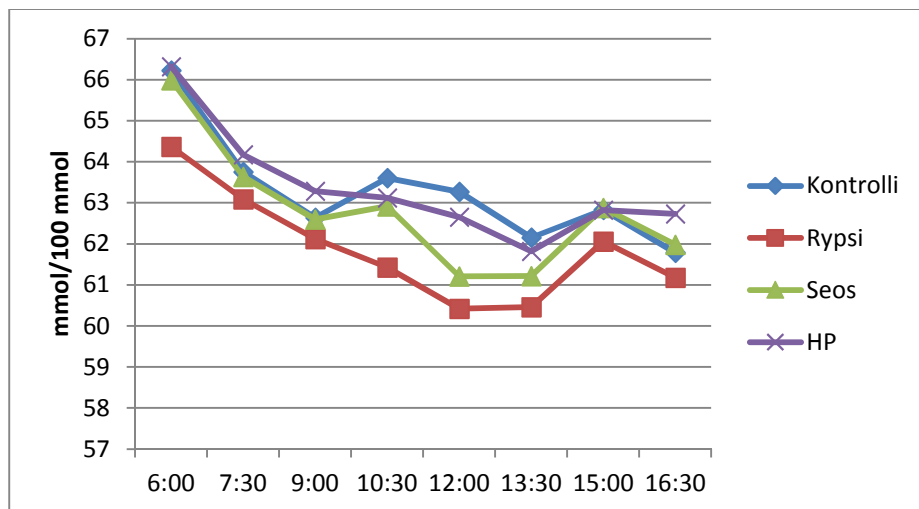
¹1 = Kontrolli vs. muut, 2 = Rypsi vs. härkäpapu, 3 = Rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutus,

²Härkäpapu, ³Neutraalidetergenttikuitu, ⁴Haihtuvat rasvahapot

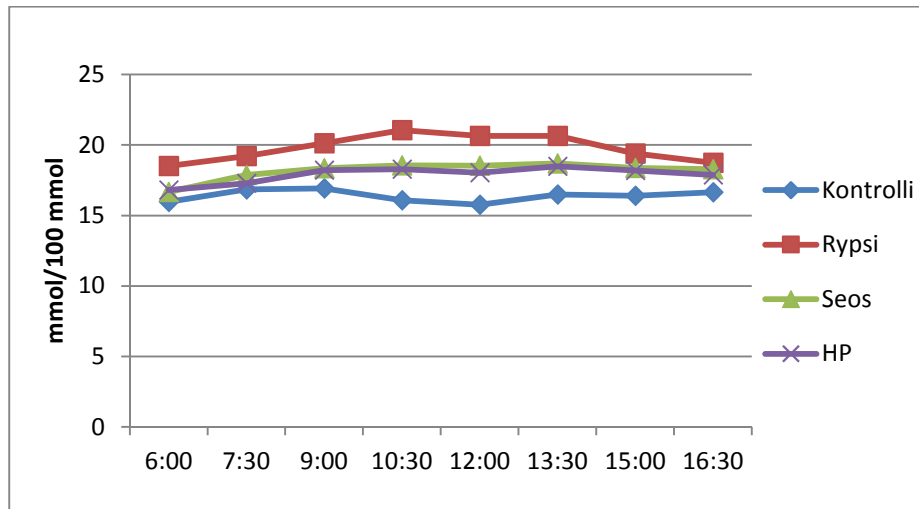
***P<0,001, **P<0,01, *P<0,05, oP<0,10



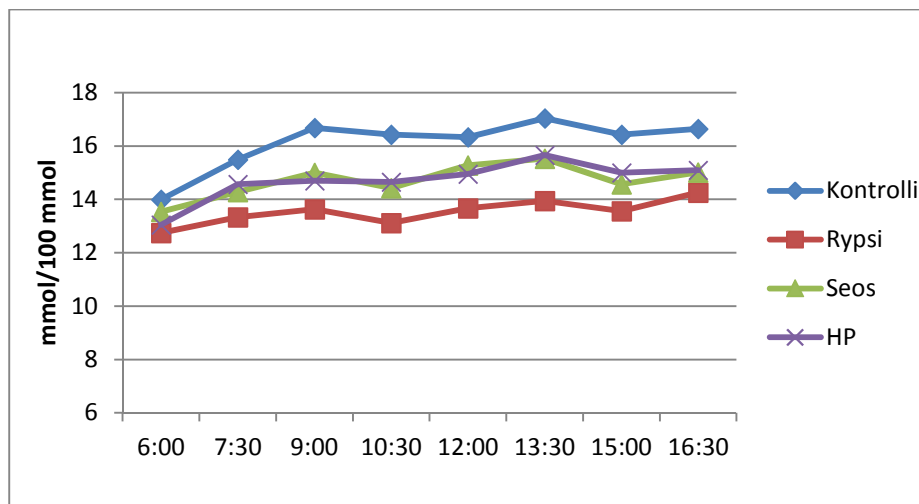
Kuvio 2. Ammoniumtyypen pitoisuus pötsissä ajan suhteen.



Kuvio 3. Etikkahapon osuus haihtuvista rasvahapoista ajan suhteen.



Kuvio 4. Propionihapon osuus haihtuvista rasvahapoista ajan suhteen.



Kuvio 5. Voihapon osuus haihtuvista rasvahapoista ajan suhteen.

3.4 Maitotuotos, maidon koostumus ja ravintoaineiden hyväksikäyttö

Valkuaistäydennys lisäsi maitotuotosta 1,6 - 4,9 kg/pv verrattuna kontrolliin (28,2 kg/pv) ($P < 0,01$) (Taulukko 6.). Korvattaessa rypsirouhetta härkävavulla oli maitotuotos 2,5 kg suurempi ($P < 0,05$). Suurin maitotuotos saavutettiin kuitenkin rypsin ja härkävavun seoksella (33,1 kg/pv), mikä oli suurempi kuin härkävavun ja rypsin maitotuotos keskimäärin (31,1 kg/pv) ($P < 0,05$). Energiakorjatun maitotuotoksen (EKM) erot olivat samansuuntaiset. Valkuaisruokinnolla EKM-tuotos oli suurempi kontrolliruokintaan verrattaessa (32,5 vs. 29,9 kg/pv, $P < 0,01$). Rypsillä EKM-tuotos jäi pienemmäksi kuin härkävavulla (30,5 vs. 32,7 kg/pv,

$P < 0,10$). Rypsin ja härkäpavun seos antoi myös suuremman EKM-tuotoksen kuin mitä rypsi- ja härkäpapuruo-kinnoilla keskiarvoisesti saavutettiin (34,2 vs. 31,6 kg/pv, $P < 0,05$).

Maidon rasvapitoisuus oli pienempi valkuaisruokinnoilla (41,2 g/kg) kuin se oli kontrolliruokinnalla (45,3 g/kg) ($P < 0,01$). Maidon valkuaispitoisuus oli puolestaan suurempi valkuaisruokinnoilla (35,5 g/kg) verrattuna kontrolliruokintaan (34,3 g/kg) ($P < 0,05$). Rypsiruo-kinnalla valkuaispitoisuus oli pienempi (34,6 g/kg) kuin härkäpapuruo-kinnalla (35,9 g/kg) ($P < 0,05$). Maidon valkuais/rasva -suhde oli suurempi valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla (0,87 vs. 0,76) ($P < 0,001$). Ureapitoisuus oli selvästi suurempi valkuaisruokinnoilla (34,4 - 41,0 mg/dl) kuin kontrolliruokinnalla (29,0 mg/dl) ($P < 0,001$). Korvattaessa rypsirouhetta härkäpavulla maidon ureapitoisuus oli pienempi (41,0 vs. 34,4 mg/dl, $P < 0,01$).

Rasvatuotos oli rypsin ja härkäpavun seosta ruokittaessa suurempi kuin rypsi- ja härkäpapuruo-kinnoilla keskimäärin (1393 vs. 1272 g/pv) ($P < 0,05$). Valkuaistuotos oli valkuaisruokinnoilla suurempi kuin kontrolliruokinnalla (958 vs. 1119 g/pv, $P < 0,001$). Korvattaessa rypsi härkäpavulla oli valkuaisu- tuotos suurempi (1029 vs 1153 g/pv, $P < 0,05$). Härkäpavun ja rypsin seoksella saatiin suurempi valkuaisu- tuotos kuin härkäpavulla ja rypsillä erikseen (1174 vs. 1091 kg/pv, $P < 0,05$). Laktoosituotos oli suurempi valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla (1452 vs. 1289 g/pv, $P < 0,01$). Rypsiä härkäpavulla korvattaessa laktoosituotos oli 103 g/pv suurempi ($P < 0,10$). Valku- aisruokinnoista suurin laktoosituotos oli kuitenkin rypsi-härkäpavu- seosruokinnalla, mikä oli suurempi kuin rypsin ja härkäpavun keskimääräinen laktoosituotos (1514 vs. 1421 g/pv) ($P < 0,10$).

Tutkimuksessa kontrolliruokinnalla saatiin suurimmat ravintoaineiden hyväksikäytöt. Rehun typen hyväksikäyttö maitoon oli valkuaisruokinnoilla pienempi kuin kontrol- liruokinnalla (0,26 vs. 0,31) ($P < 0,001$). OIV:n hyväksikäyttö oli myös valkuaisruo- kinnoilla pienempi (0,57) verrattaessa kontrolliruokintaan (0,63) ($P < 0,001$). Energian (ME (k)) hyväksikäyttö oli pienempi valkuaisruokinnoilla (0,55 – 0,62) verrattaessa kontrolliruokintaan (0,63) ($P < 0,001$). Rypsiruo-kinnalla (0,62) energian hyväksikäyt- tö (k) oli suurempi kuin härkäpapuruo-kinnalla (0,55) ($P < 0,001$). Energiakorjattu maitotuotos suhteessa syötyä kuiva-ainekiloa kohden oli pienempi valkuaisruokintoja

kontrolliin verrattaessa (1,48 vs. 1,54 kg/kg ka, $P<0,01$). Korvattaessa rypsi härkäpavulla energiakorjattu maitotuotos syötyä kuiva-ainekiloa kohden oli pienempi (1,52 vs. 1,41 kg/kg ka, $P<0,001$).

Taulukko 6. Tuotokset, maidon koostumus ja ravintoaineiden hyväksikäyttö

	Ruokinnat				SEM ³	Kontrastit ¹		
	Kontrolli	Rypsi	Rypsi/Hp	Hp ²		1	2	3
Havainnot	8	7	7	8				
Tuotokset								
Maito, kg/pv	28,2	29,8	33,1	32,3	1,81	**	*	*
EKM ⁴ , kg/pv	29,9	30,5	34,2	32,7	1,92	**	o	*
Rasva, g/pv	1277	1241	1393	1303	97,5			*
Valkuainen, g/pv	958	1029	1174	1153	48,6	***	*	*
Laktoosi g/pv	1289	1369	1514	1472	86,3	**	o	o
Koostumus								
Rasva, g/kg	45,3	41,3	42,0	40,4	1,81	**		
Valkuainen, g/kg	34,3	34,6	35,9	35,9	1,28	*	*	
Laktoosi, g/kg	45,6	45,8	45,6	45,5	0,26			
Valkuais/rasva-suhde	0,76	0,85	0,86	0,89	0,034	***		

Urea, mg/dl	29,0	41,0	36,4	34,4	2,20	***	**
Solut, kpl x 10 ⁵	90,1	97,3	88,3	69,4	20,12		*
Hyväksikäyttö							
Maito N/Rehu N	0,31	0,26	0,27	0,26	0,007	***	
OIV ⁵ hyväksikäyttö	0,63	0,57	0,57	0,58	0,86	***	
ME ⁶ hyväksikäyttö	0,50	0,50	0,42	0,46	0,07	**	***
ME ⁶ hyväksikäyttö (k) ⁷	0,63	0,62	0,58	0,55	0,022	***	***
EKM ⁴ , kg/kg ka	1,54	1,52	1,50	1,41	0,049	**	***

¹1 = Kontrolli vs. muut, 2 = Rypsi vs. härkäpapu, 3 = Rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutus, ²Härkäpapu, ³Puuttuvien havaintojen kohdalla valittu suurin SEM-arvo, ⁴Energiakorjattu maitotuotos (Sjaunja ym. 1990), ⁵Ohutsuolesta imeytyvä valkuainen, ⁶Muuntokelpoinen energia, ⁷Korjattu energia-arvo (MTT 2010)

***P<0,001, **P<0,01, *P<0,05, oP<0,10

3.5 Elopaino ja kuntoluokat

Lehmien elopaino muuttui kokeen aikana ollen kokeen alkaessa keskimäärin 692 kg (keskihajonta 51 kg) ja kokeen loppuessa 664 kg (keskihajonta 71 kg). Kuntoluokat eivät vaihdelleet koekäsittelyiden välillä, kuntoluokka oli keskimäärin 3,5. Kuntoluokkien muutoksella koeruokintojen välillä ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Veren vapaiden rasvahappojen pitoisuus (NEFA) oli kuitenkin kontrolliruokinnalla suurempi kuin valkuaisruokinnoilla (240 vs. 129 µmol/l, tuloksia ei esitetty). Syönti kontrolliruokinnalla jäi pieneksi, joten lehmät ovat todennäköisesti käyttäneet kudoksiaan energiana. Kudosten muuttaminen energiaksi on lisännyt veren vapaiden rasvahappojen pitoisuutta.

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Rehut ja syönti

Säilörehu oli niin säilönnälliseltä laadultaan kuin rehuarvoiltaan onnistunutta. Säilörehu oli erittäin hyvin sulavaa ja siinä oli korkea valkuaispitoisuus. Säilörehun valkuaispitoisuudella ei ole havaittu olevan vaikutusta rypsin tuotosvasteeseen (Huhtanen 1998). Kuitenkin Huhtasen ym. 2013 mukaan säilörehun D-arvolla ja syöntipotentiaalilla (syönti-indeksi) on vaikutusta mikrobivalkuaisen tuotantoon lypsylehmillä. Tässä tutkimuksessa hyvin sulava säilörehu mahdollisti lehmille enemmän mikrobivalkuaista, jolloin väkirehuperäisen valkuaisen merkityksen vertailu ruokinnassa hieman muuttui. Säilörehun sulavuuteen nähden väkirehun osuus kuiva-aineesta ruokinnassa oli suurehko. Tosin aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että

rypsin tuotosvaikutus ja säilörehun syönnin lisäys on ollut sama huolimatta väkirehun määrästä ruokinnassa (Huhtanen 1998). Väkirehun osuudet kokeessa vaihtelivat ollen kontrolliruokinnalla 610 g/kg ka, rypsi-ruokinnalla 580 g/kg ka, rypsin ja härkäpavun seosruokinnalla 540 g/kg ka ja härkäpapuruokinnalla 520 g/kg ka. Tämä saattoi johtaa pötsin lievään happamoitumiseen, joka osaltaan saattoi vähentää säilörehun syöntiä. Pötsin pH:ssa ei ollut merkitseviä eroja ruokintojen välillä. Kuitenkin pötsin pH:n minimiarvo oli valkuaisruokinnoilla merkitsevästi suurempi (5,7) kuin kontrolliruokinnalla (5,4). Kontrolliruokinnan korkeampi tärkkelyspitoisuus saattoi vaikuttaa syöntiin, koska tärkkelys ruokinnassa vähentää sellulolyyttisten bakteerien toimintaa pötsissä, mikä saattaa johtaa karkearehun syönnin vähenemiseen (Chamberlain ym. 1989).

Valkuaisväkirehuissa aminohappoja oli enemmän kuin kontrollirehussa, koska valkuaisväkirehujen valkuaispitoisuus oli suurempi kuin kontrollirehun. Lypsylehmille säilörehuruokinnalla eniten rajoittavaa aminohappoa histidiiniä (Vanhatalo ym. 1999) eri valkuaisväkirehuissa oli lähes saman verran ja sitä oli valkuaisväkirehuissa enemmän kuin kontrollirehussa. Rikkipitoisia aminohappoja härkäpavussa on vähän (Dixon ja Hosking 1992, Puhakka ym. 2012). Rikkipitoisia aminohappoja ovat kysteiini ja metioniini. Metioniinia härkäpapua sisältävissä väkirehuissa oli vähemmän kuin rypsi-rehussa, härkäpapurehussa metioniinia oli saman verran kuin kontrollirehussa. Näin ollen metioniinia oli vähemmän härkäpapuruokinnalla, mutta se ei hypoteesin mukaisesti rajoittanut lehmien maitotuotosta härkäpapuruokinnalla, koska maitotuotos oli härkäpapuruokinnalla suurempi kuin rypsi-ruokinnalla. Myös kysteiiniä oli rypsi-rehussa enemmän kuin härkäpapurehussa, mutta härkäpapurehun kysteiinipitoisuus oli kuitenkin suurempi kuin kontrollirehun.

Lehmät söivät säilörehua vähiten kontrolliruokinnalla, näin ollen tulokset valkuaislisän säilörehun syöntiä lisäävästä vaikutuksesta antavat samanlaisia tuloksia kuin aiemmissa tutkimuksissa (Thomas ja Rae 1988, Huhtanen 1998, Khalili ym. 1999, Rinne ym. 1999, Khalili ym. 2002, Shingfield ym. 2003, Rinne ym. 2006, Jaakkola ym. 2009, Huhtanen ym. 2011). Rypsitäydennyksellä ei saatu kuitenkaan yhtä suurta säilörehun kuiva-aineen syönnin lisäystä kuin aiemmissa tutkimuksissa. Tässä tutkimuksessa väkirehun raakavalkuaispitoisuuden noustessa 1 g/kg lisääntyi

säilörehun syönti rypsiruookinnalla 0,015 kg ka, härkäpapuruokinnalla 0,071 kg ka sekä härkäpavun ja rypsin seoksella 0,058 kg ka. Aiemmissa tutkimuksissa luomuruokinnalla on säilörehun syönti noussut vastaavasti valkuaispitoisuuden lisääntyessä rypsilisällä 0,011 kg ka (Khalili ym. 2002) ja 0,007 kg ka (Khalili ym. 1999). Luomuruokinnalla hernelisän vaikutukset säilörehun syöntiin ovat olleet 0,004 (Khalili ym. 2002) ja 0,014 kg ka per 1g/kg väkirehun valkuaispitoisuuden lisäys. Rypsilisä tavanomaisessa ruokinnassa on puolestaan lisännyt säilörehun kuiva-aineen syöntiä vastaavasti 0,013 kg (Tuori 1992) ja 0,024 kg (Jaakkola ym. 2009). Shingfieldin ym. 2003 tutkimuksessa rypsiä ja soijaa lisättiin ruokintaan eri tasoina, keskimäärin rypsiä lisättäessä oli säilörehun syönnin lisäys 0,010 kg ka ja soijaa lisättäessä syönti oli 0,011 kg ka per 1 g/kg raakavalukuaispitoisuuden noustessa. Tässä tutkimuksessa säilörehun syönnin lisäys rypsiruookinnalla jäi huomattavasti muita valkuaisruokintoja pienemmäksi, vaikka säilörehun syönnin lisäys rypsiruookintaa kontrolliin verrattaessa oli samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. On kuitenkin otettava huomioon, että säilörehun syönti jäi vähäiseksi kontrolliruokinnalla, mikä vaikuttaa laskentaan ja tulokseen. Säilörehun syönnin lisäys valkuaisruokinnalla vaikutti myös kokonaissyönnin lisäyksenä, samoin kuin Rinteen ym. (1999), Khalilin ym. (2002), Shingfieldin ym. (2003) ja Rinteen ym. (2006) tutkimuksissa.

Säilörehun syönti ja ruokinnan koostumus vaikuttivat ravintoaineiden saanteihin eri ruokinnoilla. Lehmät söivät orgaanista ainetta ja NDF:ää enemmän valkuaisruokinnoilla kontrolliin verrattuna ja rypsiä härkäpavulla korvattaessa. Tämä on seurausta siitä, että lehmät söivät säilörehua vähemmän kontrolli- ja rypsiruookinnoilla. Myös Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa orgaanisen aineen syönti lisääntyi kahden kilon rypsilisällä kontrolliin verrattaessa (20 vs. 19 kg/pv). NDF:n syönti lisääntyi tutkimuksessa numeerisesti vaikkakaan ei tilastollisesti merkitsevästi. Lehmät söivät enemmän raakavalukuaista valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla, mikä oli koeasetelman mukaista. Lehmät söivät kuitenkin vähemmän valkuaista rypsiruookinnalla kuin härkäpapuruokinnalla, mikä johtui lehmien heikommasta säilörehun syönnistä rypsiruookinnalla. Tärkkelystä lehmät söivät valkuaisruokinnoilla vähemmän kuin kontrolliruokinnalla. Tämä oli seurausta siitä, että valkuaisruokinnoilla väkirehun tärkkelyspitoisuus oli keskimäärin pienempi kuin

kontrolliruokinnalla (314 vs. 374 g/kg ka). Tärkkelyksen syönti oli rypsiä härkäpavulla korvattaessa suurempaa, koska tärkkelyspitoisuus rypsirehussa oli pienempi kuin härkäpapurehussa (294 vs 334 g/kg ka).

Syönnin ja rehujen vaikutus voidaan havaita myös energian ja OIV:n saannissa sekä pötsivalkuaistaseessa. Lehmien päivittäinen energian (ME MJ/pv (k)) ja OIV:n saanti olivat valkuaisruokinnoilla suuremmat kuin kontrolliruokinnalla. Samoin Rinteen ym. (1999) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa rypsitäydennys lisäsi energian ja OIV:n saantia. Tässä tutkimuksessa kuitenkin myös rypsiä härkäpavulla korvattaessa oli energian ja OIV:n saanti suurempaa. Kontrolliruokinnalla lehmät söivät vähemmän valkuaista, minkä seurauksena PVT oli valkuaisruokinnoilla suurempi kuin kontrolliruokinnalla. Samoin eroa oli rypsiä härkäpavulla korvattaessa PVT:n ollessa härkäpapuruokinnalla suurempi.

Energia- ja OIV-taseet jäivät pienimmiksi kontrolliruokinnalla, mikä johtuu eroista säilörehun syönneissä ja kontrolliruokinnan pienemmästä valkuaispitoisuudesta. Korjattu energiatase jäi sekä kontrolliruokinnalla että rypsiruoikinnalla negatiiviseksi, näin ollen lehmillä oli laskennallisesti puutetta energiasta näillä ruokinnoilla. Erot taseissa eivät kuitenkaan aiheuttaneet lehmien lihomista tai laihtumista, koska kuntoluokissa ei havaittu merkittäviä eroja. Lehmät ovat kuitenkin käyttäneet kudoksiaan korvaamaan energiavajetta kontrolliruokinnalla, koska veren NEFA pitoisuus oli suurin kontrolliruokinnalla. Korvattaessa rypsiä härkäpavulla oli energiatase suurempi. Lehmien heikompi säilörehun syönti rypsiruoikinnalla vaikutti eroihin rypsi- ja härkäpapuruokinnan energiataseissa, koska väkirehujä lehmät söivät lähes saman verran kaikilla ruokinnoilla.

Analysoitaessa väkirehujäännöksiä eivät jäännösväkirehujen koostumukset eronneet toisistaan tai väkirehun alkuperäisistä tuloksista. Tämä viittaa siihen, että lajittelua väkirehunsyönnissä ei tapahtunut.

Visiinin pitoisuus härkäpavussa oli keskimäärin 5,01 mg/g ka, joka on vähemmän kuin Melicharován ym. (2009) tutkimuksessa, jossa visiinin pitoisuus kolmella eri lajikkeella on vaihdellut keskimäärin 7,77 – 8,65 mg/g ka. Härkäpapua sisältävässä pellettirehussa visiinin pitoisuus on huomattavasti tätä pienempi (0,49 mg/g ka).

Konvisiinin pitoisuus härkäpavussa oli keskimäärin 3,42 mg/g ka, joka on samaa luokkaa kuin Melicharován ym. (2009) tutkimuksessa, jolloin pitoisuus vaihteli keskimäärin 2,77 – 4,58 mg/g ka. Pellettirehussa konvisiinin pitoisuus oli myös huomattavasti pienempi (0,35 mg/ g ka). Visiinin ja konvisiinin pitoisuus yhteensä on ilmoitettu tavanomaisissa lajikkeissa vaihtelevan 6 – 14 g/kg ka ja tässä tutkimuksessa visiinin ja konvisiinin pitoisuus yhteensä oli 8,43 g/kg ka toisin sanoen ei huomattavan suuri ja tavanomaisen rajoissa. Tällaiset haitta-ainepitoisuudet eivät ole vaikuttaneet negatiivisesti lehmien maitotuotokseen (Melicharová ym. 2008).

4.2 Sulavuus ja pötsikäyminen

Valkuaislisä ruokinnassa on aiempien tutkimusten perusteella joko lisännyt orgaanisen aineen sulavuutta (Thomas ja Rae 1988, Rinne ym. 2006, Jaakkola ym. 2009), vähentänyt sitä (Khalili ym. 2002) tai sillä ei ole ollut vaikutusta (Tuori 1992, Huhtanen 1998, Khalili ym. 1999). Tässä kokeessa valkuaislisällä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta orgaanisen aineen sulavuuteen. Raakavalkuaisen sulavuus oli valkuaisruokinnoilla suurempi kuin kontrolliruokinnalla samoin kuin Tuorin (1992), Rinteen ym. (2006), Rinteen ym. (1999) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksissa. NDF-kuidun sulavuuteen ei valkuaislisällä ollut vaikutusta, mikä on samassa linjassa aiempien tutkimustulosten kanssa (Huhtanen 1998, Khalili 1999). Tuloksia on saatu myös kuidun sulatuksen parantumisesta valkuaislisällä (Peoples ja Gordon 1989, Tuori 1992, Rinne ym. 1999, Rinne ym. 2006, Jaakkola ym. 2009) ja toisaalta kuidun sulatuksen heikentymisestä valkuaislisällä (Khalili ym. 2002). Tässä kokeessa väkirehun osuus kaikilla ruokinnoilla oli kuitenkin niin suuri, että se saattoi vaikuttaa pötsin happamuuteen ja kuitua sulattavien pötsimikrobien toimintaan.

Pötsin pH laskee kun orgaanisia happoja, kuten haihtuvia rasvahappoja ja/tai maitohappoa, kertyy pötsiin ja syljen ja pötsin puskurointikapasiteetti ei riitä nostamaan pH:ta (Plaizier ym. 2009). Tämän tutkimuksen tuloksissa pötsin haihtuvien rasvahappojen pitoisuudella ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ruokintojen välillä. Hieman enemmän VFA:ta kuitenkin muodostui väkirehuvaltaisemmilla kontrolli- ja rypsi-ruokinnalla. Normaaaleissa olosuhteissa pötsin pH vaihtelee välillä 5,5 – 6,5 ja tämä saavutetaan syljen fosfaattien ja bikarbo-naattien puskuroivan vaikutuksen ansiosta (McDonald ym. 2011). Kun lehmät ovat karkearehuvaltaisella ruokinnalla

märehtiminen ja syljen erityys lisääntyvät, mikä parantaa pötsin puskurointikykyä (Russell 2002). Rehujen suuri pötsisulavuus laskee pH:ta, koska haihtuvien rasvahappojen muodostus on nopeaa, eikä puskurikapasiteetti pysty estämään pötsin pH:n laskua. Tässä yhteydessä voi kuitenkin sekä hyvin sulava karkearehu, että väkirehuvaltainen ruokinta laskea pötsin pH:ta (Plaizier ym. 2009). Myös suuri määrä hiilihydraatteja rehussa laskee pötsin pH:ta (Nocek, 1997).

Tässä tutkimuksessa valkuaisruokintoja kontrolliin verrattaessa oli havaittavissa numeerinen ero pH:ssa, joka ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä. Vähäiseksi jäänyt säilörehun syönti ja suurempi tärkkelyspitoisuus väkirehussa kontrolliruokinnalla johtivat pötsin alempaan pH tasoon olleen alimmillaan 5,4. pH:n minimiarvo ruokinnoilla oli tilastollisesti merkitsevä. Alhainen pH saattaa aiheuttaa pidemmän ajan kuluessa ongelmia lehmien terveydelle ja lisää piilevään hapanpötsiin sairastumisen mahdollisuutta. Piilevän hapanpötsin rajana joissain tutkimuksissa pidetään pötsin pH:ta 5,6 (Plaizier ym. 2009).

Pötsin alhainen pH on aikaisemmissa tutkimuksissa laskenut maidon rasvapitoisuutta (Nocek 1997, Kleen 2003, Plaizier 2009). Tässä tutkimuksessa kontrolliruokinnalla maidon rasvapitoisuus oli suurempi kuin muilla ruokinnoilla. On kuitenkin otettava huomioon, että pötsin pH ei vaihdellut ruokintojen välillä keskimääräisesti. Ainoastaan pötsin pH:n minimiarvo kontrolliruokinnalla oli pienempi valkuaisruokintoihin verrattaessa.

Lehmä saa rehusta valkuaista ja ei-valkuaistyyppiä (non-protein nitrogen NPN). Valkuaista on sekä pötsissä hajoavaa että ohitusvalkuaista, joka ohittaa pötsin hajoamatta. Pötsissä hajoava valkuainen hajoaa peptideiksi ja aminohapoiksi proteolyyysissä. Ammoniakkia pötsissä muodostuu sekä ei-valkuaistyyppistä että aminohapoista. Pötsimikrobit käyttävät kasvuunsa valkuaista ja energiaksi hiilihydraatteja. Kun valkuaista hajoaa pötsissä enemmän kuin mikrobit pystyvät sitä käyttämään kasvuunsa, kertyy pötsinesteeseen ammoniakkia. Ammoniakki imeytyy pötsin seinämien kautta verenkiertoon, josta se kuljetetaan maksaan ja muutetaan ureaksi. Urea voidaan poistaa elimistöstä sekä virtsassa että maidossa. (McDonald ym. 2011) Osa ureasta palautetaan typpikiertoon joko suoraan pötsiin pötsiseinämän läpi tai syljen kautta ja se toimii puskurina neutraloiden pH:n laskua (Owens ja Zinn 1988).

Tässä tutkimuksessa ammoniakkipitoisuus oli pötsissä suurempi valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla. Pötsissä hajoavaa valkuaista oli siis enemmän valkuaisruokinnoilla, koska ruokinnan valkuaispitoisuus oli suurempi. Maidon ureapitoisuus oli myös suurempi valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla. Ammoniakkipitoisuus ei eronnut rypsiä härkäpavulla korvattaessa, mutta maidon urea oli rypsiruokinnalla suurempi. Rypsin valkuaisen hyväksikäyttö jäi heikommaksi kuin härkäpavun.

Pötsifermentaation seurauksena syntyvien haihtuvien rasvahappojen suhteet olivat etikka-, propioni- ja voihiappopitoisuuden osalta samankaltaiset kuin aikaisemmissa tutkimuksissa säilörehun perustuvalla ruokinnalla. Huhtasen (1998) tutkimuksessa etikkahapon osuus haihtuvista rasvahapoista oli suurin (66,5 mmol/100 mmol), propionihapon osuus oli toiseksi suurin (16,5 mmol/100 mmol) ja näistä kolmesta pienin osuus oli voihapolla (13,3 mmol/100 mmol). Tämän tutkimuksen tulokset eivät eronneet eri koeruokintoja verrattaessa etikkahapon ja propionihapon osuudessa haihtuvista rasvahapoista. Valkuaisruokinnoilla voihapon osuus oli kuitenkin pienempi kuin kontrolliruokinnalla. Myös aiemmissa tutkimuksissa viljan lisääminen ruokintaan on lisännyt voihapon osuuden määrää (Huhtanen 1998).

4.3 Maitotuotos ja maidon pitoisuudet

Valkuaislisällä lehmät tuottivat maitoa enemmän kuin kontrolliruokinnalla, joka on seurausta lehmien syönnin lisääntymisestä valkuaisruokinnoilla. Valkuaisruokinnoilla lehmille oli tarjolla enemmän rehuperäistä valkuaista, joka lisäsi ohutsuoletta imeytyvän valkuaisen osuutta. Maitotuotos lisääntyi rypsiruokinnalla 0,029 kg per 1 g/kg ka raakavalkuaispitoisuuden noustessa. Vastaavasti härkäpapuruokinnalla maitotuotos lisääntyi 0,084 kg ja rypsin ja härkäpavun seoksella eniten 0,094 kg. Tässä kokeessa rypsilisän vaikutus maitotuotokseen jäi aikaisemmin saatuja tuloksia pienemmäksi. Härkäpapu sekä rypsin ja härkäpavun seos antoivat erittäin hyvän tuotosvasteen. Tulokset rypsiruokinnalla olivat jostain syystä poikkeavat tässä tutkimuksessa aikaisempiin verrattuna. Härkäpapulisällä saavutettiin lähes yhtä suuri maitotuotoksen lisäys tai jopa suurempi kuin rypsillä aikaisemmissa tutkimuksissa. Aikaisemmissa tutkimuksissa luomuruokinnassa on saatu rypsilisällä 0,019 kg (Khalili ym. 1999) ja 0,030 kg (Khalili ym. 2002) tuotoksen lisäys nostettaessa väkirehun

raakavalkuaispitoisuutta. Herneellä vastaavasti maitotuotos on lisääntynyt 0,024 kg (Khalili ym. 1999) ja 0,013 kg (Khalili ym. 2002) per 1 g/kg valkuaispitoisuuden lisäys. Tavanomaisessa tuotannossa rypsitäydennys on lisännyt lähes saman verran maitotuotosta kuin luonnonmukaisella ruokinnalla 0,028 kg (Tuori 1992) ja 0,026 kg per 1g/kg raakavalkuaispitoisuuden nousu (Jaakkola ym. 2009). Shingfieldin ym. (2003) tutkimuksessa eri rypsitasot ruokinnassa lisäsivät maitotuotosta eri tavoin. Raakavalkuaispitoisuuden muutos pienimmällä tasolla 120 vs. 150 g/kg ka lisäsi maitotuotosta eniten 0,067 kg per 1 g/kg ka raakavalkuaispitoisuuden muutos. Vastaavasti toisella tasolla rypsilisä (rv-pitoisuus 120 vs. 180 g/kg ka) lisäsi maitotuotosta 0,052 kg ja suurimmalla valkuaisitasolla ruokittaessa (120 vs. 210 g/kg ka) maitotuotos lisääntyi vähiten ollen 0,043 kg per 1 g/kg valkuaispitoisuuden lisäys.

Sekä lehmien maitotuotos että energiakorjattu maitotuotos olivat rypsin ja härkäpavun seoksella suurempia, kuin millään muulla koeruokinnalla. Myös Khalilin (1999) tutkimuksessa herneen ja rypsin seoksella EKM-tuotos oli suurempi kuin pelkästään herneellä. Tosin kyseisessä tutkimuksessa eroa maitotuotoksessa ei ollut, mutta maidon pitoisuudet hernerypsiseosta käytettäessä olivat rasvan osalta suuremmat ja valkuaisen osalta pienemmät kuin hernelisällä. Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa energiakorjattu maitotuotos lisääntyi 0,028 kg per 1g/kg ka raakavalkuaispitoisuuden lisäys rypsilisällä kun Tuorilla (1992) vastaava lisäys on ollut 0,019 kg. Tässä tutkimuksessa EKM-tuotos lisääntyi rypsiruokinnalla 0,011 kg per 1g/kg ka väkirehun valkuaispitoisuuden lisäys ja vastaava tuotoslisäys oli härkäpavulla 0,057 kg sekä rypsin ja härkäpavun seoksella 0,083 kg. Tuotoslisäyksen osalta rypsi jäi aikaisempia tutkimustuloksia heikommaksi, mutta härkäpapua sisältävät väkirehut lisäsivät maitotuotosta suhteessa huomattavasti enemmän.

Lehmien päivittäinen rasva-, valkuais- ja laktoosituotos ovat yhteydessä lehmien maitotuotokseen. Suurin maitotuotos oli rypsin ja härkäpavun seoksella, mikä johti myös tilastollisesti merkitseviin eroihin rasva-, valkuais- ja laktoosituotoksissa verrattaessa rypsiin ja härkäpapuun keskimääriin. Samoin tilastollisesti merkitsevää eroa oli valkuais- ja laktoosituotoksessa verrattaessa valkuaisruokintoja kontrolliruokintaan ja rypsiruoikintaa härkäpapuruokintaan. Rinteen ym. (1999) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa rypsilisällä oli samansuuntainen vaikutus rasva-, valkuais- ja laktoosituotoksiin.

Lehmien valkuaistuotos lisääntyi valkuaisruokinnoilla kontrolliin verrattaessa samoin kuin Tuorin 1992, Huhtasen 1998, Rinteen ym. 1999, Khalilin ym. 1999, Shingfieldin ym. 2003, Rinteen ym. 2006 ja Jaakkolan ym. 2009 tutkimuksissa. Väkirehun valkuaispitoisuuden noustessa 1 g/kg ka lisääntyi maidon valkuaistuotos rypsirookinnalla 1,3 g, härkäpapuruokinnalla 4,0 g sekä rypsin ja härkäpavun seoksella 4,2 g. Aiemmissa tutkimuksissa maidon valkuaistuotos on lisääntynyt rypsitäydennyksellä 7,9 g (Tuori 1992), 1,2 g (Khalili ym. 1999), 1,4 g (Khalili ym. 2002), 1,5 (Jaakkola ym. 2009) ja Shingfieldin ym. 2003 tutkimuksessa suurimmillaan 2,4 g ja pienimmillään 1,5 g per 1 g/kg väkirehun valkuaispitoisuuden lisäys. Valkuaistuotoksen lisäys tässä tutkimuksessa oli samaa tasoa kuin aikaisemmissakin tutkimuksissa tai hieman pienempi.

Maidon rasvapitoisuus oli pienempi valkuaislisällä kuin kontrolliruokinnalla, joka vaikutti myös maidon valkuais-rasva suhteeseen. Shingfieldin ym. 2003 tutkimuksessa maidon rasvapitoisuus on ollut pienempi rypsilisällä kuin kontrolliruokinnalla ja pitoisuus on ollut sitä pienempi, mitä suurempi rypsilisä on ollut. Myös muissa tutkimuksissa maidon rasvapitoisuus on ollut numeerisesti pienempi valkuaislisällä kuin kontrollilla, mutta tilastollisesti merkitsevää eroa ei ole ollut (Khalili ym. 1999, Jaakkola ym. 2009). Tuorin (1992) tutkimuksessa yhdessä kokeessa maidon rasvapitoisuus oli merkitsevästi pienempi rypsilisällä, mutta muissa kokeissa tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollut. Rinteen ym. (1999) tutkimuksessa maidon rasvapitoisuus on ollut jopa suurempi rypsirookinnalla kuin kontrolliruokinnalla. Tässä tutkimuksessa maidon suurempi rasvapitoisuus kontrolliruokinnalla oli seurausta pötsin suuremmasta voihapsen osuudesta pötsifermentaation tuotteena (Huhtanen 1998). Suomalaisia ruokintoja verrattaessa on tärkkelyksen määrän lisääminen ruokinnassa johtanut voihapsen osuuden lisääntymiseen (Huhtanen ym. 2013). Aiemmissa tutkimuksissa korvattaessa soijaa härkäpavulla on maidon rasvapitoisuus ollut härkäpapuruokinnalla pienempi kuin soijaruokinnalla (Tufarelli ym. 2012). Tässä tutkimuksessa korvattaessa rypsiä härkäpavulla ei kuitenkaan ollut eroja maidon rasvapitoisuudessa.

Maidon valkuais/rasva –suhde oli valkuaisruokinnoilla suurempi kuin kontrolliruokinnalla, joka oli seurausta maidon pienemmästä rasvapitoisuudesta suhteessa

valkuaispitoisuuteen valkuaisruokinnoilla. Käännettäessä suhde rasva-valkuaissuhdeksi olivat tulokset kontrolliruokinta 1,32; rypsiruoikinta 1,19; härkäpapuruokinta 1,13; rypsin ja härkäpavun seos 1,17. Eicherin (2004) mukaan raja-arvoina rasva-valkuaissuhteelle voidaan pitää 1 - 1,25 ja riski metabolisten ongelmien kuten ketoosin rajana on 1,5. Tämän tuloksen perusteella lehmien rasva-valkuaissuhde kontrolliruokinnalla oli melko korkea, mutta ei aiheuta vielä sairastumista. Tässä tutkimuksessa pätee kuitenkin molemmat Eicherin (2004) mekanismit, joilla rasva-valkuaissuhteeseen on vaikutusta. Lehmät olivat negatiivisessa energiataseessa kontrolliruokinnalla ja käyttivät kudoksiaan energiaksi sekä syönti oli pienempää. Toisaalta Eicher (2004) painottaa, että lehmien ryhmäkoon tulisi olla vähintään 10 - 15 eläintä, jotta rasva-valkuaissuhdetta voidaan pitää luotettavana mittarina lehmien energiataseen seurannassa, koska eläinkohtaiset vaihtelut maidon pitoisuuksissa ovat suuria.

Valkuaislisä johti maidon suurempaan valkuaispitoisuuteen samoin kuin Huhtasen (1998), Khalilin ym. (1999), Khalilin ym. (2002) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa rypsilisää kontrolliin verrattaessa. Tuorin (1992) ja Rinteen ym. (1999) tutkimuksissa maidon valkuaispitoisuus ei puolestaan eronnut rypsilisää ruokittaessa. Khalilin ym. (1999) tutkimuksessa rypsiä herneellä korvattaessa oli maidon valkuaispitoisuus pienempi. Tässä tutkimuksessa rypsiä härkäpavulla korvattaessa oli maidon valkuaispitoisuus kuitenkin suurempi, toisin kuin Créponin ym. (2010) tutkimuksessa, jossa 4,5 kg härkäpavuannos pienensi maidon valkuaispi-toisuutta.

Valkuaisruokinnat lisäsivät maidon ureapitoisuutta samoin kuin aiemmissa tutkimuksissa (Tuori 1992, Huhtanen 1998, Khalili ym. 1999, Rinne ym. 1999, Khalili ym. 2002, Shingfield ym. 2003, Rinne ym. 2006, Jaakkola ym. 2009). Ylimääräinen valkuainen, jota pötsimikrobit eivät voi käyttää poistetaan ureana (McDonald ym. 2011), näin ollen maidon suurempi ureapitoisuus oli odotettavissa ruokinnan valkuaispitoisuutta lisättäessä. Korvattaessa rypsirouhe härkäpavulla maidon ureapitoisuus oli pienempi eli rypsin hyväksikäyttö jäi heikommaksi kuin härkäpavun. Tufarellin ym. (2012) tutkimuksessa soija valkuaislisänä on johtanut korkeampaan maidon ureapitoisuuteen kuin härkäpapuruokinta (25,7 vs. 23,1 mg/dl). Sen sijaan Créponin ym. (2010) mukaan härkäpavu lisäsi urean pitoisuutta kahdessa eri tutkimuksessa. Tässä tutkimuksessa rypsiruoikinnalla oli selvästi korkeampi maidon

ureapitoisuus kuin härkäpapuruokinnalla (41,0 vs. 34,4 mg/dl) ja myös urean pitoisuus oli selkeästi suurempi tässä tutkimuksessa. Tosin Tufarellin ym. (2012) tutkimuksessa kummankin väkirehun raakavalkuaispitoisuus oli 170 g/kg ka kun tässä tutkimuksessa valkuaisväkirehujen raakavalkuaispitoisuus oli noin 200 g/kg ka. Tufarellin tutkimuksessa käytettävä karkearehu oli kaurasta tehty heinä, joten myös se vaikuttaa valkuaisaineenvaihduntaan.

Typen hyväksikäyttöä maidontuotantoon kuvaa arvo maito N/rehu N, joka ilmaisee rehussa syödyn typen hyväksikäyttöä maitoon. Typen hyväksikäyttö maitoon oli pienempi valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla. Kontrolliruokinnalla typen saanti oli pienintä samoin kuin typen eritys maitoon. Valkuaisruokinnoilla lehmät saivat enemmän typpeä, mutta sen hyväksikäyttö ei ollut yhtä hyvä, joka johti saatuun tulokseen. Huhtasen ym. (2013) mukaan typen hyväksikäyttö maidontuotantoon on pienempi, vaikka valkuaisuotos valkuaisruokinnalla lisääntyy. Myös Khalilin ym. (1999), Khalilin ym. (2002), Shingfieldin ym. (2003) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa typen hyväksikäyttö maidontuotantoon oli pienempi rypsilisällä kuin kontrolliruokinnalla (Khalili 1999 0,253 vs. 0,274) (Khalili 2002 0,264 vs. 0,295) (Jaakkola ym. 2009 0,32 vs. 0,36). Tässä tutkimuksessa kontrolliruokinnalla typen hyväksikäyttö maitoon (0,31) oli samaa tasoa Shingfieldin ym. (2003) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimusten kanssa. Valkuaisruokinnoilla hyväksikäyttö oli pienempi (0,26), ollen samaa tasoa kuin Khalilin ym. (1999) ja Khalilin ym. (2002) tutkimuksissa luomuruokinnalla. Typen heikompi hyväksikäyttö valkuaisruokinnoilla saattaa olla seurausta koko ruokinnan suuresta raakavalkuais-pitoisuudesta, joka johti siihen että pienempi osa typestä voitiin käyttää hyväksi maidontuotantoon. Myös aiemmissa tutkimuksissa on havaittu raakavalkuaisen hyväksikäytön heikentyminen raakavalkuaispitoisuuden noustessa (Chamberlain ym. 1989, Huhtanen ja Hristov 2009). Kontrolliruokinnalla koko ruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli 159 g/kg ka, rypsi-ruokinnalla ja rypsi-härkäpapuseos ruokinnalla 189 g/kg ka ja härkäpapuruokinnalla 185 g/kg ka.

OIV:n hyväksikäyttö oli pienempi valkuaisruokinnoilla kuin kontrolliruokinnalla. Rinteen ym. (2006) tutkimuksessa on OIV:n hyväksikäyttö ollut samoin pienempi rypsi-ruokinnalla (2 kg rypsilisä: 0,71, 4 kg rypsilisä: 0,66, kontrolli: 0,78). Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa on kuitenkin saatu päinvastainen tulos OIV:n hyväksikäytön

ollessa suurempi rypsilisällä kuin kontrolliruokinnalla (0,65 vs. 0,62). Tässä tutkimuksessa OIV:n hyväksikäyttö valkuaisruokinnoilla (0,57) jäi kuitenkin pienemmäksi kuin Rinteen ym. (2006) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa. Kontrolliruokinnalla OIV:n hyväksikäyttö (0,63) oli puolestaan samalla tasolla kuin Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa.

ME:n hyväksikäyttö oli pienempi valkuaisruokinnoilla kontrolliin verrattuna. Jaakkola ym. (2009) on saanut samanlaisen tuloksen lisättäessä rypsiä ruokintaan. Tosin Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa ME:n hyväksikäyttö oli parempi sekä kontrolliruokinnalla (0,69) että rypsiruokinnalla (0,64). Tämän tutkimuksen tuloksena kontrollilla ja rypsiruokinnalla ME:n hyväksikäyttö oli 0,50 ja se oli vielä pienempi rypsi-härkäpapuseosruokinnalla (0,42) ja härkäpapuruokinnalla (0,46).

Lehmien EKM-tuotos syötyä kuiva-ainekiloa kohden vaihteli tilastollisesti merkitsevästi ruokintojen välillä toisin kuin Khalilin ym. (1999), Rinteen ym. (1999), Khalilin ym. (2002) ja Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksissa rypsilisällä. Tässä tutkimuksessa lehmät tuottivat valkuaisruokinnoilla vähemmän maitoa syötyä kuiva-ainekiloa kohden kuin kontrolliruokinnalla. Rypsiruokinnalla lehmät tuottivat enemmän maitoa syötyä rehukiloa kohden kuin härkäpapuruokinnalla. Khalilin ym. (1999) tutkimuksessa merkitsevä ero oli ainoastaan herneruokintaa herne-rypsiseokseen verrattaessa, jolloin pelkällä herneellä lehmät tuottivat vähemmän maitoa kuiva-ainekiloa kohti. Tämän tutkimuksen maitotuotto kuiva-aineeseen nähden oli suurempi kuin Khalilin ym. (1999) luomututkimuksessa, mutta samaa tasoa tai hieman pienempi, kuin Jaakkolan ym. (2009) tutkimuksessa.

5 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tulokset olivat siltä osin hypoteesin mukaiset, että härkäpavun käyttö lisäsi lehmien maitotuotosta viljapohjaiseen kontrolliruokintaan verrattaessa. Toisena hypoteesina oli, että metioniinin niukka saanti saattaa rajoittaa härkäpavun maidontuotantovaikutusta rypsiin verrattuna. Lehmien säilörehunsyönti rypsiruokinnalla ei kuitenkaan tässä kokeessa ollut yhtä suuri kuin härkäpapu- ja härkäpapu-rypsiseosruokinnalla, mikä johti pienempään maitotuotokseen rypsiruo-

kinnalla. Toisen hypoteesin mukaista vaikutusta maitotuotokseen ei siis tässä kokeessa havaittu.

Tämän tutkimuksen perusteella rypsiä voidaan lypsylehmän ruokinnassa korvata härkäpavulla ilman negatiivisia vaikutuksia syöntiin tai tuotokseen. Rypsin ja härkäpavun seos antoi kuitenkin vielä paremman tuotosvasteen, kuin täysin härkäpapuun siirtyminen. Tässä tutkimuksessa rypsi toimi ruokinnassa eri tavoin kuin aiemmissa tutkimuksissa, joten sen vaikutus tuloksiin tulee ottaa huomioon. Härkäpapu on kuitenkin varteenotettava vaihtoehto haluttaessa lisätä kotimaisten valkuaislähteiden käyttöä, minkä avulla voidaan monipuolistaa myös peltoviljelyä.

Kiitokset

Haluan kiittää lämpimästi ohjaajiani, jotka auttoivat tämän työn valmistumisessa. Professori Aila Vanhatalo auttoi poimimaan oleelliset asiat ja hiomaan oikeat esitystavat tieteelliseen tekstiin. Tohtorikoulutettava Laura Puhakka oli ennen kaikkea ehtymätön tiedon lähde tämän tutkimuksen ja tulosten suhteen. Yliopiston-lehtori Seija Jaakkola auttoi menetelmien sisäistämisessä ja erityisesti matemaattisissa päähkäilyissä.

Kiitos myös kaikille ystäville, jotka olivat todellinen henkireikä koko prosessin ajan. Erityiskiitokset haluan osoittaa Kaisalle, joka kulki edellä samaa tietä ja Marjukalle, jonka tiedot ja taidot tulivat tarpeeseen, kun tuntui että omat eivät enää riittäneet.

Lopuksi haluan osoittaa erityiskiitokset Samille, äidille ja isälle, veljille ja muulle lähipiirille kannustavasta asenteesta ja kärsivällisyydestä.

Lähteet

- AOAC. 1995. Official methods of analysis, 16th edition. Association of official analytical chemists, Arlington, VA, USA.
- Artturi rehuanalyysi MTT ja Valio. 2014. Rehuanalyysin tulkinta.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Artturi/Rehuanalyysi/Rehuanalyysin_tulkinta_marehtijat Viitattu 11.3.2014.
- Barker, S.B., Summerson, W.H. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological materials. *The Journal of Biological Chemistry* 138: 537 - 554.
- Canfield, R.W., Sniffen, C.J., Butler, W.R. 1990. Effects of excess degradable protein on postpartum reproduction and energy balance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 73: 2342 – 2349.
- Chamberlain, D.G., Martin, P.A., Robertson, S. 1989. Optimizing compound feed use in dairy cows with high intakes of silage. Teoksessa: Haresign, W., Cole, D.J.A. (toim.). *Recent advances in animal nutrition*. Butterworths Lontoo. s. 175 – 193.
- Chamberlain, D.G., Yeo, J.-M. 2003. Effects of amino acids on milk production. Teoksessa D’Mello, J.P.F. (toim.). *Amino acids in animal nutrition*. Painos 2. CABI Publishing.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P., Duc, G. 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research* 115: 329 - 339.
- D’Mello, J.P.F. 2000. Anti-nutritional factors and mycotoxins. Teoksessa: D’Mello, J.P.F. (toim.). *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CABI Publishing.

- Dixon, R.M., Hosking, B.J. 1992. Nutritional value of grain legumes for ruminants. *Nutrition research reviews* 5: 19 - 43.
- Edmonson, A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T., Webster, G. 1989. A Body condition scoring chart for holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72: 68 - 78.
- Eicher, R. 2004. Evaluation of the metabolic and nutritional situation in dairy herds: Diagnostic use of milk components. Quebec, Canada: Proceedings of the WBC Congress.
- Friedel, K. 1990. Die Schätzung des energetischen Futterwertes von Grobfutter mit Hilfe einer Cellulasemethode. [The estimation of the energetic feeding value of roughages by means of a cellulase method]. *Wissenschaftliche Zeitung Universität Rostock, N-Reihe* 39, 78 - 86.
- Holma, M. 2011. Herne ja härkäpapu tärkkelysten lähteenä. *Rehumakasiini* 4/2011. s. 16.
- Huhtanen, P. 1998. Supply of nutrients and productive responses in dairy cows given diets based on restrictively fermented silage. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 219 - 250.
- Huhtanen, P., Hetta, M., Swensson, C. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Canadian Journal of Animal Science* 91: 529 - 543.
- Huhtanen, P., Hristov, A.N. 2009. A meta-analysis of the effects of protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 3222 – 3232.
- Huhtanen, P., Jaakkola, S., Nousiainen, J. 2013. An overview of silage research in Finland: from ensiling innovation to advances in dairy cow feeding. *Agricultural and Food Science* 22: 35 – 56.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J., Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293 - 323.
- Huhtanen, P., Rinne, M., Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1: 758 - 770.
- Huhtanen, P., Rinne, M. & Nousiainen, J. 2008. Evaluation of concentrate factors affecting silage intake of dairy cows: a development of the relative total diet intake index. *Animal* 2: 942 - 935.
- Huida, L., Väättäinen, H., Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agriculturae Fenniae*. 25: 215 - 230.
- Jaakkola, S., Saarisalo, E., Heikkilä, T. 2009. Formic acid treated whole crop barley and wheat silages in dairy cow diets: effects of crop maturity, proportion in the diet, and level and type of concentrate supplementation. *Agricultural and Food Science* 18: 234 – 256.

- Khalili, H., Kuusela, E., Saarisalo, E., Suvitie, M. 1999. Use of rapeseed and pea grain protein supplements for organic milk production. *Agricultural and Food Science in Finland* 8: 239 – 252.
- Khalili, H., Kuusela, E., Suvitie, M., Huhtanen, P. 2002. Effect of protein and energy supplements on milk production in organic farming. *Animal Feed Science and Technology* 98: 103 – 119.
- Kleen, J.L., Hooijer, G.A., Rehage, J., Noordhuizen, J.P. 2003. Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. *Journal of Veterinary Medicine A. Physiology Pathology and Clinical Medicine* 50: 406 – 414.
- Komissio 2009. Komission asetetus (EY) N:o 152/2009. Annettu 27.1.2009. Komission asetetus näytteenotto- ja määrittämenetelmistä rehujen virallista valvontaa varten. Liite III Rehuaineiden ja rehuseosten koostumuksen valvonnassa käytettävät määrittämenetelmät osa H. Raakarasvan ja raakaöljyn määrittäys. Julkaistu 26.2.2009. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:054:0001:0130:FI:PDF> Viitattu 18.3.2014
- Korhonen, M. 2003. Amino acid supply and metabolism in relation to lactational performance of dairy cows fed grass silage based diets. *Helsingin yliopiston kotieläintieteen laitoksen julkaisuja* 68.
- Laine, A. 2010. Palkokasvit. Teoksessa Kangas, A., Harmoinen, T. (toim.). *Peltokasvilajikkeet 2010*. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy. s. 54 - 55.
- Martínez, T.F., Moyano, F.J., Díaz, M., Barroso, F.G., Alarcón, F.J. 2004. Ruminal degradation of tannin treated legume meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1979 - 1987.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 17: 297 - 304.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. 2011. *Animal Nutrition*. 7. painos. Ashford Colour Press Ltd. Gosport. 692 s.
- Melicharová, V., Pechová, A., Dvořák, R., Pavlata, L. 2009. Performance and metabolism of dairy cows fed bean seeds (*Vicia faba*) with different levels of anti-nutritional substances. *Acta Veterinaria Brno* 78: 57 - 66.
- Morse, D., Head, H.H., Wilcox, C.J., Van Horn, H.H., Hissem, C.D., Harris, B. 1992. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. *Journal of Dairy Science* 75: 3039 - 3049.
- MTT. 2010. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Verkojulkaisu. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot>. Viitattu 3.3.2014.
- Nocek, J.E. 1997. Bovine acidosis: implications on laminitis. *Journal of Dairy Science* 80: 1005 – 1028.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M., Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97 - 111.

- Owens, F.N., Zinn, R. Protein metabolism of ruminant animals. Teoksessa: Church, D.C. (toim). *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*. Yhdysvallat: Prentice Hall. s. 217 – 249.
- Peoples, A.C., Gordon, F.J. 1989. The influence of wilting and season of silage harvest and the fat and protein concentration of the supplement on milk production and food utilization by lactating cattle. *Animal Production* 48: 305 – 317.
- Plaizier, J.C., Krause, D.O., Gozho, G.N., McBride, B.W. 2009. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. *The Veterinary Journal* 176: 21 - 31.
- Puhakka, L., Jaakkola, S., Vanhatalo, A. 2012. Palkoviljat nautojen ruokinnassa. Maataloustieteen päivät 2012.
http://www.smts.fi/Valkuaisomavaraisuus/Puhakka_Palkoviljat%20nautojen%20ruokinnassa.pdf Viitattu 6.2.2014
- Puhakka, L., Jyrinki, S., Vanhatalo, A. 2012. Palkoviljojen haitta-aineet ja niiden merkitys kotieläinten ruokinnassa. Maataloustieteen päivät 2012.
http://www.smts.fi/Valkuaisomavaraisuus/Puhakka_Palkoviljojen%20haitta-aineet.pdf Viitattu 21.5.2014
- Ramos-Morales, E., Sanz-Sampelayo, M.R., Molina-Alcaide, E. 2008. Nutritive evaluation of legume seeds for ruminant feeding. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 94: 55 - 64.
- Rinne, M., Jaakkola, S., Kaustell, K., Heikkilä, T., Huhtanen, P. 1999. Silages harvested at different stages of grass growth v. concentrate foods as energy and protein sources in milk production. *Animal Science* 69: 251 – 263.
- Rinne, M., Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A. 2006. Rypsi soijaa parempi lypsylehmien valkuaistäydennys myös apilapitoista säilörehua syötettäessä. Maataloustieteen päivät 2006.
- Russell, J.B. 2002. Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition. Ithaca NY.
- Salo, M.-L. 1965. Determination of carbohydrate fractions in animal foods and faeces. *Acta Agraria Fennica* 105: 1 - 102.
- Salo, M.-L., Salmi, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 40: 38 - 45.
- Shingfield, K.J., Vanhatalo, A., Huhtanen, P. 2003. Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solvent-extracted soya-bean meal as protein supplements for dairy cows given grass silage-based diets. *Animal Science* 77: 305 - 317.
- Sjaunja, L.O., Baevre, L., Junkarinen, L., Pedersen, J., Setälä, J. 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. Proc. 27th Biennial session Int. Committee for Animal Recording. ICAR, Pariisi, Ranska. s. 156 - 157.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *The Journal of Biological Chemistry* 160:61-68
- Stoddard, F. 2012. Increasing the range of legume crops for Finnish crop rotations. Maataloustieteen päivät 2012.

- http://www.smts.fi/Valkuaisomavaraisuus/Stoddard_Increasing.pdf Viitattu 6.2.2014
- Stoddard, F.L., Hovinen, S., Kontturi, M., Lindström, K. ja Nykänen, A. 2009. Review: Legumes in Finnish agriculture: history, present status and future prospects. *Agricultural and Food Science* 18: 191-205.
- Stoddard, F., Nykänen, A., Ellä, A. 2011. Palkokasvien viljely. Teoksessa Aaltonen, R., Peltonen, S. (toim.). *Valkuaisrehujen tuotanto ja käyttö*. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy. s. 36 - 47.
- SYKE 2013. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ja_luonnon_huuhtouma Julkaistu 30.8.2013. Viitattu 3.4.2014.
- Thomas, C., Rae, R.C. 1988. Concentrate supplementation of silage for dairy cows. Teoksessa Garnsworthy, P.C.(toim.). *Nutrition and lactation in the dairy cow*. Lontoo: Butterworths. s. 327 – 354.
- TIKE 2014. <http://www.maataloustilastot.fi> Julkaistu 25.02.2014. Viitattu 25.02.2014.
- Tufarelli, V., Khan, R., Laudadio, V. 2012. Evaluating the suitability of field beans as a substitute for soybean meal in early-lactating dairy cow: Production and metabolic responses. *Animal Science Journal* 83: 136 – 140.
- TUKES 2014. <http://tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Kasvinsuojeluaineet/Neonikotinoideilla-peitattuja-rypsin--ja-rapsinsiemenia-saa-kayttaa-333062014/> Viitattu 14.3.2014
- Tuori, M. 1992. Rapeseed meal as a supplementary protein for dairy cows on grass silage-based diet, with the emphasis on the Nordic AAT-PBV feed protein evaluation system. *Agricultural Science in Finland* 1: 367 - 439.
- Uusitalo, R., Ekholm, P. 2004. Käyttökelpoisen fosforin arviointi pintamaasta ja valumavedestä. Julkaisussa Turtola, E., Lemola, R. (toim.) *Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2, osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003*. MTT:n julkaisu Maa- ja elintarviketalous 59. <http://jukuri.mtt.fi/bitstream/handle/10024/457518/met59.pdf?sequence=1> Viitattu 3.3.2014.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal production. *Journal of Dairy Science* 74: 3583 - 3597.
- Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V., Varvikko, T. 1999. Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. *Journal of Dairy Science* 82: 2674 – 2685.
- Volpelli, L.A., Comellini, M., Masoero, F., Moschini, M., Pietro Lo Fiego, D., Scipioni, R. 2010. Faba beans (*Vicia faba*) in dairy cow diet: effect on milk production and quality. *Italian Journal of Animal Science* 9:e27: 138 - 144.